

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno – matematički fakultet  
Biološki odsjek

Margareta Franković

Utjecaj ispušnih plinova iz osobnih vozila na klimu i šumski pokrov  
u Zagrebačkoj županiji i gradu Zagrebu

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

Ovaj rad izrađen je u Centru za vozila Hrvatske pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Sanje Lozić. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja Magistra znanosti o okolišu.

*Zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Sandri Radić Brkanac na ukazanoj volji, sumentorstvu i stručnoj pomoći tijekom izrade ovog rada.*

*Iznimno i veliko hvala mojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Sanji Lozić, bez koje ovaj rad ne bi bio ostvaren.*

*Zahvaljujem Centru za vozila Hrvatske na pomoći i potrebnim podacima.*

*Hvala svim mojim prijateljima koji su me bodrili prije svakog ispita, tješili ili veselili se sa mnom nakon istih.*

*Svojim studentskim prijateljima zahvaljujem na predivnim druženjima u klupi i na terenu te na svakoj pomoći i dijeljenju bilješki s predavanja.*

*Katarina i Valentina, napokon sam u klubu! Hvala vam od srca za predivne studentske dane koje ćemo nastaviti i dalje.*

*Dino, hvala ti što si uz mene u svakom trenutku i moja podrška u svemu! Napokon je došao i taj dan!*

*Najveće hvala mojim roditeljima, Gordanu i Snježani, i bratu Martinu! Hvala vam što ste moj bezuvjetni oslonac u svemu, ovo je i vaša diploma!*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

### UTJECAJ ISPUŠNIH PLINOVA IZ OSOBNIH VOZILA NA KLIMU I ŠUMSKI POKROV U ZAGREBAČKOJ ŽUPANIJI I GRADU ZAGREBU

Margareta Franković

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Cestovni promet je postao dio svakodnevnog života ljudi te uvelike povezuje njihove aktivnosti i interakcije. Rastom broja osobnih vozila dolazi do porasta emisije ugljičnog dioksida, a dugoročno pridonosi klimatskim promjenama. Ovaj utjecaj djelomično je modificiran postojanjem i značajkama vegetacijskog pokrova, odnosno šumama koje kompenziraju povećane emisije ugljičnog dioksida. Porast koncentracije ugljičnog dioksida utječe ne samo na klimatske značajke, već i na biljke koje kroz šumski pokrov čine 36,7% istraživanog područja. Cilj istraživanja ovog rada je testiranje hipoteze da značajke osobnih vozila (broj, starost i prosječni prijeđeni put) tijekom određenog vremenskog razdoblja utječu na promjenu značajki klimatskih pokazatelja (temperatura i oborina) te da šumski pokrov taj utjecaj djelomično modificira. Istraživano područje odnosi se na područje gradova i općina Zagrebačke županije i grada Zagreba. Analiza podataka o osobnim vozilima i klimatskim značajkama obuhvaća 11 - godišnji vremenski niz od 2007. do 2017. godine. Analizirani su podaci o klimatskim elementima s 13 klimatoloških postaja te je, uz spomenuto razdoblje analiziran i period od 30 godina (od 1988. do 2017. godine) kako bi se moglo osvrnuti i na recentne promjene klime. Rezultati analize odnosa parametara osobnih vozila i klimatskih pokazatelja pokazuju da je povezanost prosječnog prijeđenog puta kroz godine s temperaturama i oborinama u danom vremenskom periodu na istraživanom području statistički značajna, ali s vremenskom odgodom od 3 godine za temperaturu i odgodom od 1 godine za oborine. Porast koncentracije ugljičnog dioksida pozitivno utječe na povećanje biomase šumskog pokrova. Šumske površine pridonose smanjenju emisije ugljičnog dioksida, no samo u općinama s većim udjelom šuma u ukupnoj površini i s manjim brojem osobnih vozila.

(64 stranice, 43 slike, 10 tablica, 33 literaturna navoda, 11 izvora, 9 priloga, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: klima, temperatura, oborine, šumski pokrov, osobna vozila, ugljični dioksid,

Zagrebačka županija, grad Zagreb

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Sanja Lozić

Suvoditelj: izv. prof. dr. sc. Sandra Radić Brkanac

Ocjenitelji: izv. prof. dr. sc. Sandra Radić Brkanac

doc. dr. sc. Anamaria Štambuk

prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović

izv. prof. dr. sc. Danijel Orešić

Rad prihvaćen: 02. svibnja 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

Graduation Thesis

### THE INFLUENCE OF PERSONAL VEHICLES EXHAUST GASES ON CLIMATE AND FOREST COVER IN ZAGREB COUNTY AND CITY OF ZAGREB

Margareta Franković

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Road transport has become a part of people's everyday life connecting their activities and interactions greatly. Growing number of motor vehicles on the roads contributes to rise in carbon dioxide emissions, which in long term leads to climate change. This impact has been partly modified by the existence and features of vegetation cover i.e. forests that compensate for increased carbon dioxide emissions. The increased carbon dioxide concentrations affect not only climate characteristics, but also plants that make up to 36.7% of the studied area through the forest cover. The aim of this work is to test the hypothesis that the characteristics of personal vehicles (number, age and average travel path) affect the change of climatic features (temperature and precipitation) over a period of 11 years, and that forest cover partially modifies that effect. The studied area refers to the area of towns and municipalities of the Zagreb County and the City of Zagreb. Data analysis of personal vehicles and climatic features covers period of 11, from 2007 to 2017. Climatic data from 13 climatic stations was analyzed in a period of 30 years (from 1988 to 2017), in order to reflect on recent climate changes. Analysis showed that correlation between the average traveled path over the years and temperatures and precipitation in a given time period in the studied area is statistically significant, but with a delay of 3 years for temperature and a delay of 1 year for precipitation. Elevated carbon dioxide concentration have positive effects on forest cover biomass. Forest cover contributes to carbon dioxide emissions reduction though only in municipalities with greater part of forests in total area and with lower number of personal vehicles.

(64 pages, 43 figures, 10 tables, 33 references, 11 sources, 9 attachments, original in: Croatian)

Thesis deposited in The Central Biological Library

Keywords: climate, temperature, precipitation, forest cover, personal vehicles, carbon dioxide, Zagrebačka County, city of Zagreb

Supervisor: dr. sc. Sanja Lozić, Assoc. Prof.

Cosupervisor: dr. sc. Sandra Radić Brkanac, Assoc. Prof.

Reviewers: dr. sc. Sandra Radić Brkanac, Assoc. Prof.

dr. sc. Anamaria Štambuk, Assoc. Prof.

dr. sc. Blanka Cvetko Tešović, Prof.

dr. sc. Danijel Orešić, Assoc. Prof.

Thesis accepted: May 2<sup>nd</sup> 2019

## SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
1.1. Cilj istraživanja.....	3
1.2. Klimatološke značajke .....	4
1.2.1. Temperatura.....	5
1.2.1.1. Temperatura i onečišćenje zraka .....	5
1.2.2. Oborine.....	6
1.2.2.1. Oborine i reljef .....	6
1.2.2.2. Oborine i šume .....	7
1.3. Šumski pokrov .....	7
1.4. Osobna vozila .....	9
1.4.1. Ispušni plinovi osobnih vozila.....	9
1.4.2. Ugljični dioksid (CO <sub>2</sub> ) .....	10
1.4.2.1. Utjecaj CO <sub>2</sub> na šumski pokrov .....	12
1.4.2.2. Uskladišteni ugljik i potencijalni kapacitet vezanja ugljičnog dioksida .....	13
2. Područje istraživanja .....	13
2.1. Zagrebačka županija .....	13
2.2. Grad Zagreb .....	16
3. Materijali i metode .....	17
3.1. Klimatski podaci.....	17
3.2. Šumski pokrov .....	20
3.3. Osobna vozila .....	21
3.4. Odnos parametara osobnih vozila i klimatskih značajki.....	24
3.5. Emisije ugljičnog dioksida.....	25
3.6. Odnos šumskog pokrova i ugljičnog dioksida.....	26
4. Rezultati.....	27
4.1. Klimatološke značajke u 11 – godišnjem razdoblju od 2007. do 2017. godine.....	27
4.1.1. Analiza odnosa parametara osobnih vozila i klimatoloških značajki.....	29
4.1.1.1. Utjecaj osobnih vozila na temperaturu.....	32
4.1.1.2. Utjecaj osobnih vozila na oborine .....	34
4.2. Klimatske promjene u 30 – godišnjem razdoblju od 1988. do 2017. godine .....	37
4.3. Usporedba klimatskih promjena 30 – godišnjeg s 11 – godišnjim razdobljem .....	40
4.3.1. Temperatura.....	40
4.3.2. Oborine.....	41
4.4. Analiza odnosa šumskog pokrova i ugljičnog dioksida.....	42

5. Rasprava .....	45
6. Zaključak .....	48
7. Literatura .....	49
8. Prilozi .....	53
Životopis .....	64

## 1. Uvod

Cestovni promet je postao neizostavni dio svakodnevnog života ljudi te uvelike utječe na njihove aktivnosti i interakcije. Porastom broja osobnih vozila i njihovih emisija CO<sub>2</sub>, uz ostale izvore stakleničkih plinova, dolazi do porasta temperature zraka te promjena u oborinskom režimu, a dugoročno i do promjena klime.

Broj registriranih osobnih vozila u 2017. godini u Republici Hrvatskoj iznosio je 1.567.883, što je u odnosu na 2016. više za 2,54%. (CVH, 2017). Samo na području grada Zagreba u 2017. godini je registrirano 307 999 osobnih vozila (CVH, 2017), što čini Zagreb izrazito prometnim gradom koji utječe na kvalitetu zraka te klimatske značajke. Ovaj utjecaj djelomično je modificiran postojanjem i značajkama vegetacijskog pokrova.

Izgaranjem fosilnih goriva nastaju ispušni plinovi koji onečišćuju zrak i ugrožavaju zdravlje ljudi i okoliš. Ugljični dioksid je glavni staklenički plin koji utječe na globalno povećanje temperature i značajke oborina, stoga mu je u ovom radu posvećena posebna pažnja. Iako nije izravni onečišćivač zraka, ugljični dioksid kao nusprodukt izgaranja utječe ne samo na klimatske značajke, već i na biljke koje kroz šumski pokrov čine 2 688 687 ha, odnosno 47% kopnene površine Republike Hrvatske (Hrvatske šume 2015). Biljke smanjuju koncentraciju atmosferskog ugljičnog dioksida apsorbirajući i pohranjujući ga, te služe kao najveća skladišta među svim kopnenim ekosustavima čime izravno utječu na promjenu klime. Razvojem industrije i tehnologije, emisija ugljičnog dioksida je u iznimnom porastu zbog čega dolazi do jačanja efekta staklenika, tj. otežavanja izlaska dugovalnog toplinskog zračenja iz atmosfere čime se zadržava toplina na Zemlji i podiže temperatura. Posljedice porasta globalne temperature su višestruke: otapanje ledenih pokrova i glečera, podizanje razine mora kao i povećana varijabilnost oborina, odnosno učestalost suša i poplava.

Prva ispitivanja kvalitete zraka provedena su još 50-ih godina 20. st. u SAD-u, a prvi propisi o kontroli emisije ispušnih plinova u Europi, u okviru ECE (Economic Commission for Europe, osnovana 1947.), uvedeni su krajem 60-ih godina prošlog stoljeća (Golubić 1999). Donošenjem sve više zakona i direktiva, nastoji se smanjiti negativan utjecaj vozila, a samim time i ispušnih plinova na okoliš. Republika Hrvatska se također zakonski obvezala na sudjelovanje u smanjenju emisija stakleničkih plinova ratificirajući dva glavna međunarodna dokumenta o promjeni klime: *Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime* (ratificiran 1996.) i *Kyoto protokol* (ratificiran



2009.). Postavši članicom Europske unije 2013. godine, Hrvatska je obvezna poštivati cilj EU za smanjenjem emisije CO<sub>2</sub> za 20% do 2020., te 60 – 80% do 2050. godine (Grani i sur. 2011). Uvođenjem Euro normi za vrste goriva, nastoji se prijeći na čišće gorivo te ograničiti emisiju štetnih plinova. Kategorizacijom vozila prema Euro normama, omogućava se uvid u podjelu vozila prema graničnim vrijednostima emisija ispušnih plinova.

Mnoge razvijene zemlje, uvidjevši negativan utjecaj vozila, odredile su različite smjernice i zabrane radi smanjenja onečišćenja zraka ispušnim plinovima. Prema Europskoj agenciji za zaštitu okoliša (EEA), oko 30% ukupne emisije ugljičnog dioksida izravno je povezano s prometom (Pejić i sur. 2018). Kalifornija, savezna država SAD-a, prednjači u uvođenju strogih zabrana te postavlja kriterije ostalim američkim državama, ali i europskim. Kroz dugoročni program, Kalifornija nastoji uvesti u promet nova vozila s manjim emisijama plinova. Ugradnjom trostrukog katalizatora, strogim propisima o dopuštenim emisijama te redovitim kontrolama ispušnih sustava vozila, Kalifornija je postavila svjetski standard brige o kvaliteti zraka (Golubić 1999). Također, zabranama ulaska vozilima određenih Euro normi u središnje dijelove urbanih sredina, pokušava se minimalizirati emisija ispušnih plinova u područjima slabe cirkulacije zraka i gustog prometa. Njemačka je primjer takve regulative od 1. listopada 2018. godine, München ima *Low emission zone* u centru grada. Zabranjen je ulazak vozilima s visokom emisijom te je potrebna zelena naljepnica na vozilu koja omogućava ulazak u centar grada. U Europi je trenutno 258 *Low emission zonea* u 23 države (Pejić i sur. 2018).

## 1.1. Cilj istraživanja

S obzirom na važnost navedene problematike i mali broj istraživanja u Republici Hrvatskoj, cilj istraživanja ovog diplomskog rada je testiranje hipoteze da parametri osobnih vozila (broj vozila, prosječna starost i prosječan prijeđeni put) utječu na promjenu značajki klimatskih pokazatelja (temperatura i oborina) tijekom određenog vremenskog perioda na primjeru Zagrebačke županije i grada Zagreba. Ovaj utjecaj djelomično modificiraju šumske površine koje kompenziraju povećane emisije CO<sub>2</sub>. Hipoteza će biti provjerena analizom odnosa koji postoji između broja vozila, broja prijeđenih kilometara i klimatskih pokazatelja te odnosa emisije CO<sub>2</sub> i šumskog pokrova, odnosno odgovorit će se na sljedeća pitanja:

- 1) Rastu li temperatura i oborine značajno kroz godine?
- 2) Pojavljuju li se navedene povezanosti s temperaturom i oborinama istovremeno s promjenama ukupnog prijeđenog puta osobnog vozila po km<sup>2</sup> ili pak s odgodom od nekoliko godina?
- 3) Razlikuje li se trend promjene temperatura i oborina između općina i gradova s manjim u odnosu na veće vrijednosti prosječnog prijeđenog puta osobnog vozila po km<sup>2</sup>?
- 4) Razlikuju li se različite općine i gradovi po trendu promjena temperatura i oborina kroz vrijeme?
- 5) Kakav odnos postoji između emisija CO<sub>2</sub> i površine šumskog pokrova na istraživanom području?

## 1.2. Klimatološke značajke

Klima je prosječno stanje atmosfere nad određenim mjestom u određenom razdoblju, uzimajući u obzir prosječna i ekstremna odstupanja (Šegota i Filipčić 1996). Kako bismo mogli govoriti o klimi određenog područja, potrebno je provoditi dugogodišnja istraživanja i pratiti klimatske elemente te je na temelju toga Međunarodna meteorološka organizacija donijela zaključak da je za dobivanje reprezentativnih podataka potreban period od 25 do 35 godina motrenja (Šegota i Filipčić 1996). Kao referentno razdoblje u Hrvatskoj, uzima se razdoblje od 1961. do 1990. godine koje također još koristi i Međuvladin panel o klimatskim promjenama (IPCC) (Cindrić Kalin i sur. 2018).

Glavna obilježja klime Zagreba i Zagrebačke županije uklapaju se u opće klimatske uvjete zapadnog dijela Panonske nizine. Ovo područje nalazi se unutar pojasa umjerenih širina, s izraženim godišnjim dobima, gdje se miješaju utjecaji euroazijskog kopna, Atlantika i Sredozemlja. To se očituje na način da u nekim pokazateljima klime dolazi do izražaja maritimnost, a u drugim kontinentalnost klime, pri čemu ni jedno od ovih obilježja ne prevladava.

Područje Zagrebačke županije, prema Koepenovoj klasifikaciji, pripada klimatskom području "Cfbwx". To je umjereno topla kišna klima, u kojoj nema suhog razdoblja tijekom godine i oborine su jednoliko razdijeljene na cijelu godinu. Najsušni dio godine javlja se u hladno godišnje doba (ožujak). Primarni oborinski maksimum je u proljeće (lipanj), sekundarni maksimum u ranu jesen (listopad i studeni), a između njih je razdoblje suše. Temperatura najhladnijeg mjeseca je iznad  $-3^{\circ}\text{C}$ , ljeta su svježija, sa srednjom mjesečnom temperaturom najtoplijega mjeseca ispod  $22^{\circ}\text{C}$ .

Između područja Zagreba i Zagrebačke županije klimatske razlike nisu velike. Najviše su izražene zbog razlika u nadmorskim visinama ili u položaju u odnosu na Medvednicu (veća ili manja zaklonjenost od sjevernih vjetrova).

Vremenske promjene nekih obilježja godišnjih hodova klimatskih elemenata, posebice temperature, mogu poslužiti kao pokazatelji klimatskih promjena (Juras 1985).

### 1.2.1. Temperatura

Najveći dio toplinske energije koja ulazi u atmosferske procese dolazi sa Zemljine površine te se atmosfera najvećim dijelom zagrijava odozdo, od podloge. Temperatura je stupanj toplinske energije (Šegota i Filipčić 1996). Ugljični dioksid u atmosferi zadržava Zemljino dugovalno zračenje te, podižući temperaturu podloge, izravno utječe na atmosferske procese. S obzirom da u prizemnom sloju zraka dolazi do velikih razlika u temperaturi i poremećaja, mjerenje temperature mora biti provedeno na postajama u kojima je termometar, uređaj za mjerenje temperature, u posebnim izoliranim kućicama, izvan utjecaja radijacije, a istovremeno kroz njih mora strujati okolni zrak. Postaje moraju biti postavljene iznad prizemnog sloja, odnosno iznad 1.25 – 2 m visine.

U ovom radu, analizirana je srednja godišnja temperatura za periode od 11 i 30 godina, tj. od 2007. do 2017. i od 1988. do 2017. godine. Kraće razdoblje analizirano je zbog kompatibilnosti s razdobljem za koje su dostupni podaci o osobnim vozilima. Analiza 30-godišnjeg razdoblja poslužila je kao temelj za osvrt o klimatskim promjenama na istraživanom području.

Područje Zagrebačke županije i grada Zagreba spada u umjerene geografske širine sjeverne hemisfere, za koje je karakteristična najviša i najniža srednja mjesečna temperatura poslije solsticija, odnosno u srpnju i siječnju na kontinentu, te u kolovoza i veljači na moru. Temperatura s visinom opada, a promjena na svakih 100 m visinske razlike naziva se *vertikalni gradijent temperature*. Veličina gradijenta je u prosjeku 0.5°C/100m, ali iznimno i do 2°C/100m. Gradijent može biti i negativan, tj. temperatura raste s porastom visine (*inverzija temperature*).

#### 1.2.1.1. Temperatura i onečišćenje zraka

Onečišćenost zraka motornim vozilima u urbanim sredinama direktno je pospješena inverzijom temperature jer ona stvara idealne uvjete za stvaranje smoga. Inverzija djeluje na način da sloj zraka u kojem se nalazi čini stabilnim te onemogućava konvekcijsko izdizanje zbog čega dolazi do nakupljanja dima i prašine ispod tog inverzijskog sloja što pogoduje stvaranju smoga. Ukoliko se dim turbulentnom difuzijom digno do gornje granice inverzije, nastaje „kapa“ iznad grada (Šegota i

Filipčić 1996), odnosno nakupina vidljivog smoga. Taj problem je sve češći u gusto prometnim urbanim područjima i utječe na stupanj onečišćenja.

Urbane sredine i razvijeni gradovi pokazuju veće vrijednosti temperature u odnosu na svoju okolicu i predgrađa. Količina asfaltiranih prometnica u gradovima je daleko veća nego u okolici. Asfaltna podloga upija Sunčevo zračenje, koje dodatno zagrijava podlogu. Većina dugovalnog zračenja sa Zemlje dolazi upravo od njene podloge, a ugljični dioksid kao nusprodukt izgaranja goriva, sprječava raspršivanje dugovalnog Zemljinog zračenja u atmosferu.

### 1.2.2. Oborine

Do nastanka oborina dolazi uslijed smanjivanja temperature određenog volumena zraka u kojemu nastaje kondenzacija ili sublimacija vodene pare. Adijabatsko hlađenje zraka zbog njegove ekspanzije i dizanja, glavni je uzrok stvaranja oblaka. Adijabatski proces je termodinamički proces u kojem nema izmjene topline između sustava i okoline. Prilikom kompresije, zrak se zagrijava, a ekspanzijom se hladi. Tijekom dizanja nezasićenog zraka na svakih 100 m, on se ohlađuje za 1°C, bez obzira na temperaturu zraka (adijabatski gradijent temperature). Ako dođe do daljnjeg uzdizanja zraka, sve većim hlađenjem doći će do zasićenja i započet će kondenzacija.

#### 1.2.2.1. Oborine i reljef

U umjerenim geografskim širinama, reljef i količina oborina se savršeno poklapaju i izravno utječu jedno na drugo. Reljefno viši prostori primaju više oborina jer se vlažne zračne mase izdižu kako bi ih prešle te dolazi do hlađenja i kondenzacije (pretvaranje vodene pare u vodene kapljice). Što je reljef viši, to će količina oborina biti veća. S obzirom na smjer strujanja vjetra i izloženost planine, razlikujemo privjetrinu i zavjetrinu. U privjetrini će biti vrlo kišovito i vlažno, a u zavjetrini posve suho (Šegota i Filipčić 1996).

#### 1.2.2.2. Oborine i šume

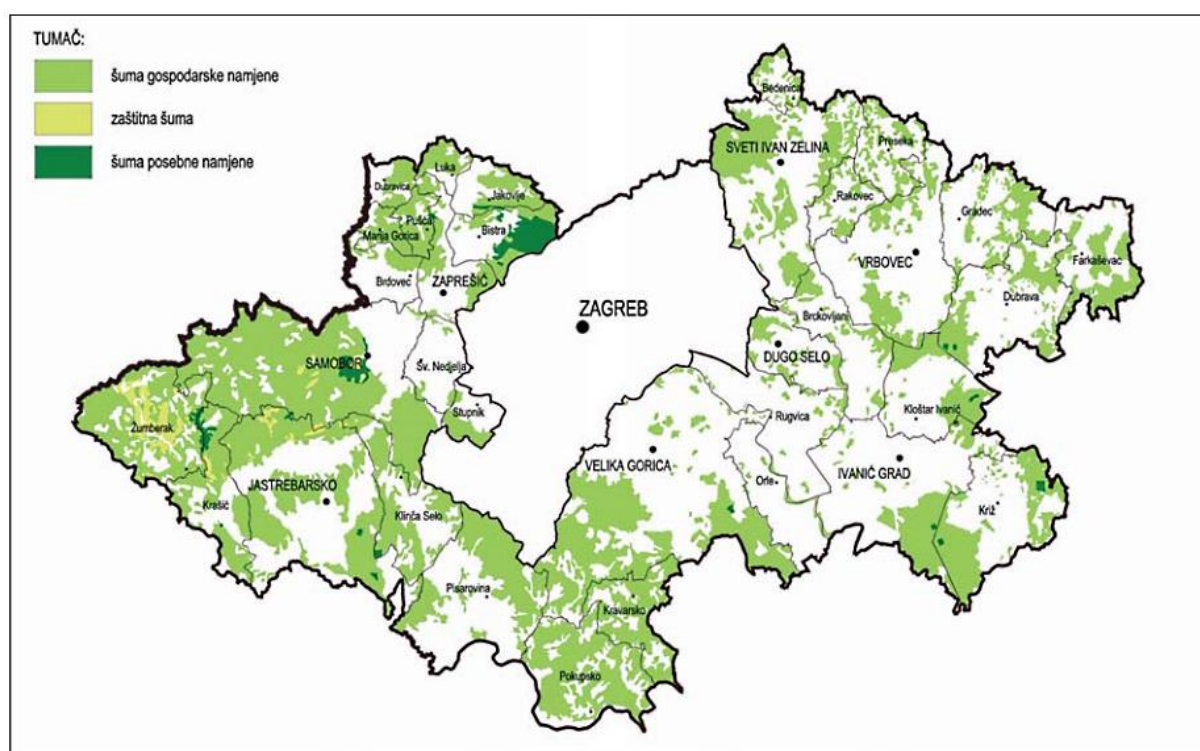
Područje istraživanja ovog rada, Zagrebačka županija i grad Zagreb, obuhvaćaju 136 000 ha, odnosno 1360 km<sup>2</sup> šumskog pokrova na površini od 3701 km<sup>2</sup>, što znači da šumski pokrov zauzima 36,7% područja. Biljke crpe vodu iz tla i ne mogu je uzimati izravno iz zraka. Kiša je najpovoljniji oblik uzimanja vode za vegetaciju, pogotovo ako je dugotrajna i sitna jer obilno natapa tlo. Mnoge kapi se zadržavaju na listovima i granama (intercepcija). Gubitak vode intercepcijom iznosi 6-39%, a ovisi o količini kiše, intercepcija je velika kad padne malo kiše, a vrlo niska tijekom velikih količina kiše.

### 1.3. Šumski pokrov

Područje Zagreba i Zagrebačke županije pripada izvorno šumskoj zoni, ali do danas je veliki dio šumskih površina iskrčen radi širenja naselja, poljoprivrednih površina i gradnje prometnica. Veće i uglavnom povezane šumske površine nalaze se još samo na Medvednici, Žumberačkoj gori i Samoborskom gorju, Vukomeričkim goricama i slabije naseljenim dijelovima Pokuplja (Slika 1.). Na površine pod šumom u Gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji otpada 136 000 ha.

U niskim i najvlažnijim dijelovima prevladavaju šumske sastojine vrbe, crne johe i poljskog jasena. Na manje vlažnim staništima najraširenije su šume hrasta lužnjaka i običnog graba. Hrasta lužnjaka ima i u poplavnim šumama Crne Mlake. Na ocjeditim i brežuljkastim predjelima najraširenije su šume hrasta kitnjaka i običnog graba. Prisojni dijelovi Medvednice pokriveni su hrastom kitnjakom, grabom i pitomim kestenom (do 600 m). Šume obične bukve najčešće su na visinama između 300 i 800 m, a u višim dijelovima bukva je miješana s jelom. Iznad 800 m nadmorske visine mjestimice se pojavljuju šume običnog i gorskog jasena. Na žumberačkoj gori prevladava bukova šuma. U sjeveroistočnom dijelu gorskog masiva, uz bukovu šumu s crnim grabom, ima i manjih površina šuma hrasta kitnjaka, dok u prigorju prevladava šuma hrasta kitnjaka s običnim grabom (Bertić 1994).

Biljke akumuliraju povećani udio atmosferskog ugljičnog dioksida te djelomično modificiraju utjecaj ispušnih plinova na zrak i klimatske značajke. Na istraživanom području šumske površine zauzimaju 136 000 ha, od kojih se 113 700 ha odnosi na Zagrebačku županiju, a 22 300 ha na grad Zagreb (Zavod za prostorno planiranje Zagrebačke županije 2015).



Sl. 1. Prikaz šumskih površina u Zagrebačkoj županiji (Izvor: PPZZ 2002).

Atmosferski zrak sadrži razne onečišćivače poput CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, H<sub>2</sub>S, etilen, O<sub>3</sub> ulaze u listove kroz puči istim difuzijskim putem kao i CO<sub>2</sub> (Pevalek-Kozlina 2003). Biljke reagiraju na onečišćenja u atmosferi te se javljaju fiziološke promjene u stanicama. Mnoge štetne promjene u metabolizmu uzrokovane onečišćenjem zraka zbivaju se bez uočljivih vanjskih simptoma; oni postaju vidljivi samo kod mnogo viših koncentracija. Onečišćujući plinovi, osobito ozon, mogu dovesti do degradacije klorofila i poremećaja u fotosintezi. Naposljetku, može doći do promjena u boji listova, smanjenog rasta, smanjenja reproduksijskog potencijala ili uginuća. Najvažniji fototoksični onečišćivači iz prometa su NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, etilen, SO<sub>2</sub> i prašina.

Kako je atmosferski zrak onečišćen, oborine također sadržavaju onečišćivače koji utjecajem na vodu i zemlju, zagađuju stanište biljaka odnosno šuma (Eugen i sur. 2003).

## 1.4. Osobna vozila

Parametri vozila analizirani u ovom diplomskom radu su broj vozila, prosječna starost te prosječan prijeđeni put. Podaci za 11 – godišnji vremenski niz (2007. – 2017.) dobiveni su od Centra za vozila Hrvatske. Vrijednosti svakog parametra prikazane su na godišnjoj razini za svaki grad i općinu Zagrebačke županije te grad Zagreb (Prilog 4., 5., 6.).

Osobno vozilo jest motorno vozilo namijenjeno prijevozu osoba koje, osim sjedala za vozača, ima najviše osam sjedala (Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama 2009). Osobna vozila sudjeluju u 85 – 90% ukupnog broja motornih vozila u svijetu. Ukupna populacija ljudi se udvostručila od 1950. godine, dok se broj vozila u svijetu povećao gotovo deset puta. Zbog velikog broja vozila u gusto naseljenim mjestima i slabe cirkulacije zraka, motorna vozila direktno utječu na okoliš emisijom štetnih plinova te prednjače u onečišćenju, i to do 80% ukupnog onečišćenja okoliša (Golubić 1999).

### 1.4.1. Ispušni plinovi osobnih vozila

Najvažniji kemijski spojevi koji nastaju izgaranjem motornih goriva sadrže ugljik i vodik, a kisik koji je potreban za izgaranje izdvaja se iz atmosferskog zraka i tvori s gorivom gorivu smjesu. Izgaranjem goriva kod vozila s unutarnjim izgaranjem nastaju ispušni plinovi. U slučaju potpunog izgaranja nastaju ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), vodena para i dušik, no kako ne dolazi do potpunog, već do nepotpunog izgaranja, nastaju i: sumporni spojevi, ugljični monoksid, dušikovi oksidi, ugljikovodici, čađa, aerosol i čestice čiji tragovi utječu na stvaranje naoblake i intenzitet padalina (Golubić 1999). Netoksični spojevi čine oko 98% ukupne emisije, toksične komponente oko 2%, a krute čestice oko 0,8% (Džanić i Džanić 1990). Uzrokuju respiratorne, kardiovaskularne i neurološke bolesti (Pejić i sur. 2018).

Ugljični monoksid je otrovan plin bez boje i mirisa, izaziva gubitak svijesti, trovanje, pa i smrt jer je brži u vezanju za hemoglobin od kisika i time smanjuje njegovu sposobnost prenošenja u krvi.



Dušikovi oksidi uzrokuju iritaciju oka i pluća, umor i povraćanje, a dugoročno izlaganje može uzrokovati astmu, trajna oštećenja pluća i živčanog sustava, a čak i genetičke poremećaje.

Ugljikovodici u ispušnim plinovima benzinskih motora djeluju nadražujuće, a oni u dizelskim motorima su toksični. Ako se pri izgaranju ne oksidiraju, može nastati visoko toksični aromatski spoj, benzen, koji uzrokuje rak krvi i kostiju i razne tumore.

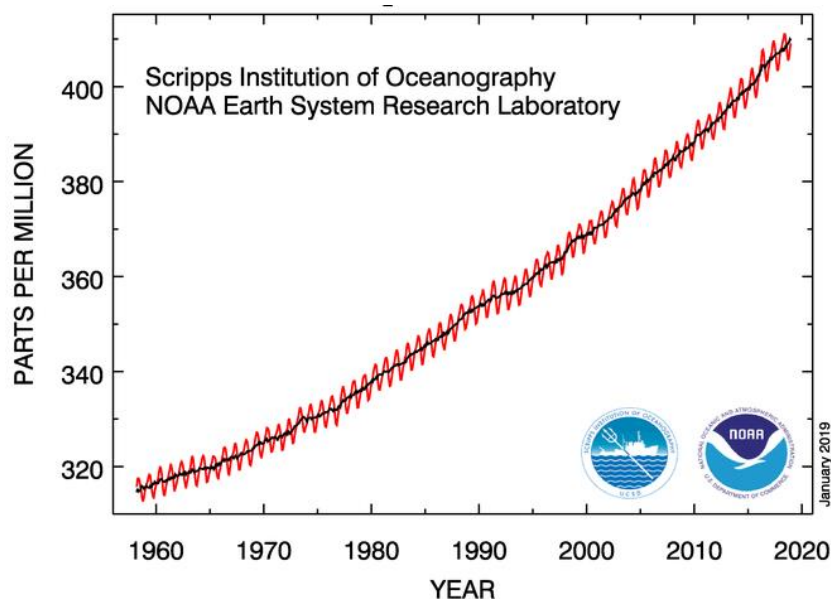
Sumporov dioksid uzrokuje koroziju, a u atmosferi oksidira u  $\text{SO}_3$  koji u doticaju s vodom prelazi u sulfatnu kiselinu te nastaju "kisele kiše" (Miklič i sur. 2011).

Čestice, koje se uglavnom sastoje od čađe, izrazito su opasne za ljudsko zdravlje jer mogu udisanjem ući u respiratorni i kardiovaskularni sustav te povećati smrtnost (Poorfakhraei i sur. 2017).

Ugljični dioksid, kao jedan od nusprodukata izgaranja goriva, glavni je uzročnik efekta staklenika i izravno utječe na porast temperature i karakter oborina. Upravo zbog toga je posebno istražen u ovome radu.

#### 1.4.2. Ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ )

Ugljik je glavni element organske tvari, a njegov osnovni oblik u prirodi je ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ), koji se oslobađa disanjem biljaka i životinja. Ugljični dioksid, kao nusprodukt izgaranja goriva, nije izravan onečišćivač zraka, ali direktno utječe na globalno zagrijavanje povećavajući temperaturu efektom staklenika. Ugljični dioksid propušta kratkovalno Sunčevo zračenje, ali ne propušta Zemljino dugovalno zračenje u atmosferu, čime se toplina zadržava u donjim dijelovima atmosfere. Dakle, što je veća koncentracija  $\text{CO}_2$ , to je nepropusnost veća, a "staklenik" čvršći. Ljudskim djelovanjem, prirodna koncentracija atmosferskog ugljičnog dioksida u svijetu se povećala za otprilike 40% u povijesnom razdoblju od 1750. do 2011. godine te je, osim utjecaja na efekt staklenika, uz antropogeni dušik glavni uzrok povećanja produktivnosti kopnene vegetacije (Devaraju i sur. 2016). Porast koncentracije  $\text{CO}_2$  u razdoblju od 1958. godine do sada pokazuju podaci s mjerne postaje Mauna Loa (Havaji) (Slika 2.).



*Sl. 2. Rast koncentracije atmosferskog CO<sub>2</sub> izmjerenog na mjernoj postaji Mauna Loa (izvor: National Oceanic & Atmospheric Administration).*

Povišene koncentracije ugljičnog dioksida zajedno s ostalim stakleničkim plinovima utjecale su na povećanje globalne temperature u svijetu za 0.7°C u zadnjih 100 godina (Matthews i sur. 2000). Udio CO<sub>2</sub> u stakleničkim plinovima je 73,3% (Tumara 2015). Daljnje akumuliranje stakleničkih plinova, uzrokovat će promjene klime, podizanje razine mora te anomalije oborina i povezano s njima, dugotrajne suše, intenzivne poplave te sve učestalije vremenske ekstreme.

Emisija ugljičnog dioksida u ukupnom cestovnom prometu u Republici Hrvatskoj u 2011. godini iznosila je 5490 tisuća tona. U 2016. godini iznosila je 5862 tisuće tona, što je s obzirom na 5 - godišnje razdoblje, porast emisije za 0,8%. Tijekom 2015. i 2016. došlo je do blagog porasta emisija CO<sub>2</sub>, što je posljedica izlaska iz ekonomske krize i porasta gospodarskih aktivnosti (Vuk 2017).

Iz nepokretnih energetske izvora u 2016. godini emitiralo se 61,2%, a cestovni promet je sudjelovao u emisiji s 37,4%, a vancestovni promet (zračni, željeznički, pomorski i riječni) s 1,4% (Vuk 2017).

#### 1.4.2.1. Utjecaj CO<sub>2</sub> na šumski pokrov

Zelene biljke apsorbiraju ugljični dioksid fotosintezom, a ponovno ga oslobađaju respiracijom. Troše ga kao energiju te prerađuju u složene organske spojeve. Apsorbirani ugljik pohranjuju u biljnom tkivu (ugljična sekvestracija), čime se ugljik isključuje iz atmosfere. Bez obzira na stalnu izmjenu ugljika između biljke i atmosfere, velika količina ugljika je uvijek prisutna u lišću, tkivima i korijenju. To stalno skladištenje ugljika i apsorbirani, odnosno sekvestirani ugljik usporavaju stopu kojom će se ugljični dioksid akumulirati u atmosferi i ublažavaju globalno zagrijavanje. Šume su najveći eliminator ugljika iz atmosfere te najveći pohranitelj od bilo kojeg drugog kopnenog ekosustava i imaju veliku ulogu u promjeni klime (Matthews i sur. 2000).

Veteli i sur. (2002), ispitivali su utjecaj povećane koncentracije ugljičnog dioksida i temperature na *Salix myrsinifolia* (Salisb.). Usporedba rezultata biljaka uzgojenih u uvjetima normalne (350 ppm) i povećane koncentracije CO<sub>2</sub> (720 ppm), pokazala je da je povećana koncentracija CO<sub>2</sub> dovela do povećanja biomase biljaka (povećanje za 31% u odnosu na kontrolne biljke). Osim toga, povećanje CO<sub>2</sub> je uzrokovalo smanjenje sadržaja vode i dušika u listovima, no nije utjecalo na površinu lista. Povećanje CO<sub>2</sub> i temperature dovelo je do smanjenja koncentracije nekoliko fenolnih spojeva u listovima. Autori su smanjenje sadržaja fenola, vode i dušika u listovima djelomično pripisali povećanoj alokaciji ugljika u različite strukture (primjerice, zadebljanje stanične stijenke, povećanje dlaka).

Svjetski pokret za očuvanje prirode sve više uključuje ekonomski aspekt. U izvještajima TEEB („Ekonomija ekosustava i bioraznolikosti“), projekt koji je podržao Svjetski fond za zaštitu prirode (WWF)), a i Međunarodnog saveza za očuvanje prirode (IUCN), objavljenim između 2008. i 2011. godine pod pokroviteljstvom Programa Ujedinjenih naroda za zaštitu okoliša (UNEP), se naglašava da je, zbog opasnosti od gubitka bioraznolikosti potrebno usredotočiti se na čitave ekosustave, a zatim i na načine na koje oni služe ljudima, a koje na kraju treba i ekonomski vrednovati. Razlog tome je što će se na takav način odgovornim osobama, političarima i rukovoditeljima, privući pozornost na nužnost očuvanja prirode (Orlić 2016).

#### *1.4.2.2. Uskladišteni ugljik i potencijalni kapacitet vezanja ugljičnog dioksida*

Područje šuma koje je istraživano u ovom diplomskom radu ubraja se u područja srednje geografske širine te se po hektaru površine skladišti 206 – 273 tone ugljika (Matthews i sur. 2000). Područje Zagrebačke županije i grada Zagreba skladišti: 28 016 000 – 37 128 000 tona ugljika.

## 2. Područje istraživanja

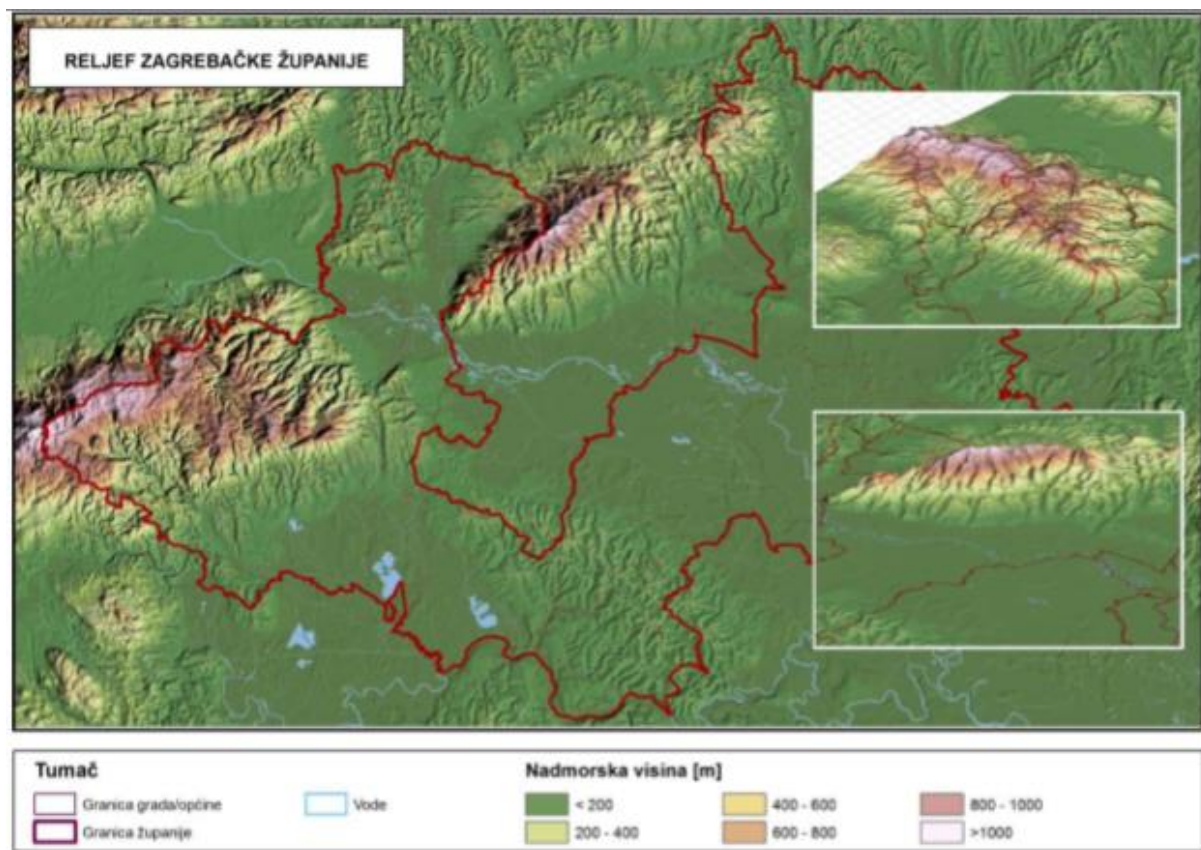
### 2.1. Zagrebačka županija

Zagrebačka županija smještena je u središnjem dijelu Republike Hrvatske, okružujući prstenasto, s istočne, južne i zapadne strane grad Zagreb. Na sjeveru Zagrebačka županija graniči s Krapinsko-zagorskom, Varaždinskom i Koprivničko-križevačkom županijom, na jugozapadu s Karlovačkom županijom, na jugu sa Sisačko-moslavačkom, a na istoku s Bjelovarsko-bilogorskom županijom. Dio sjeverozapadne granice Zagrebačke županije ujedno je i državna granica Republike Hrvatske s Republikom Slovenijom.

Prema prirodno - geografskoj regionalizaciji Hrvatske, Zagrebačka županija smještena je u panonskoj megaregiji, i to u njenom jugozapadnom dijelu, pretežito u zavalu sjeverozapadne Hrvatske, a dijelom pripada gorsko-zavalskom području sjeverozapadne Hrvatske (Slika 3.). Na području Županije prevladavaju nizinski krajevi do 200 m nadmorske visine. Samo se Medvednica uz Zaprešić, odnosno Bistru i Žumberačku goru sa Samoborskim gorjem na jugozapadu, uzdižu iznad 500 metara nadmorske visine. Marijagoričko pobrđe (visine do 312 m) pruža se između Sutle i Krapine, a Vukomeričke gorice između Turopolja i Pokuplja, visine do 255 m. Na ostalom području nalaze se aluvijalne ravni rijeke Save i njenih pritoka: Prisavska nizina s Turopoljem, Lonjska nizina na istoku i Donje Pokuplje na jugu (PPŽŽ 2002, Slika 4.).

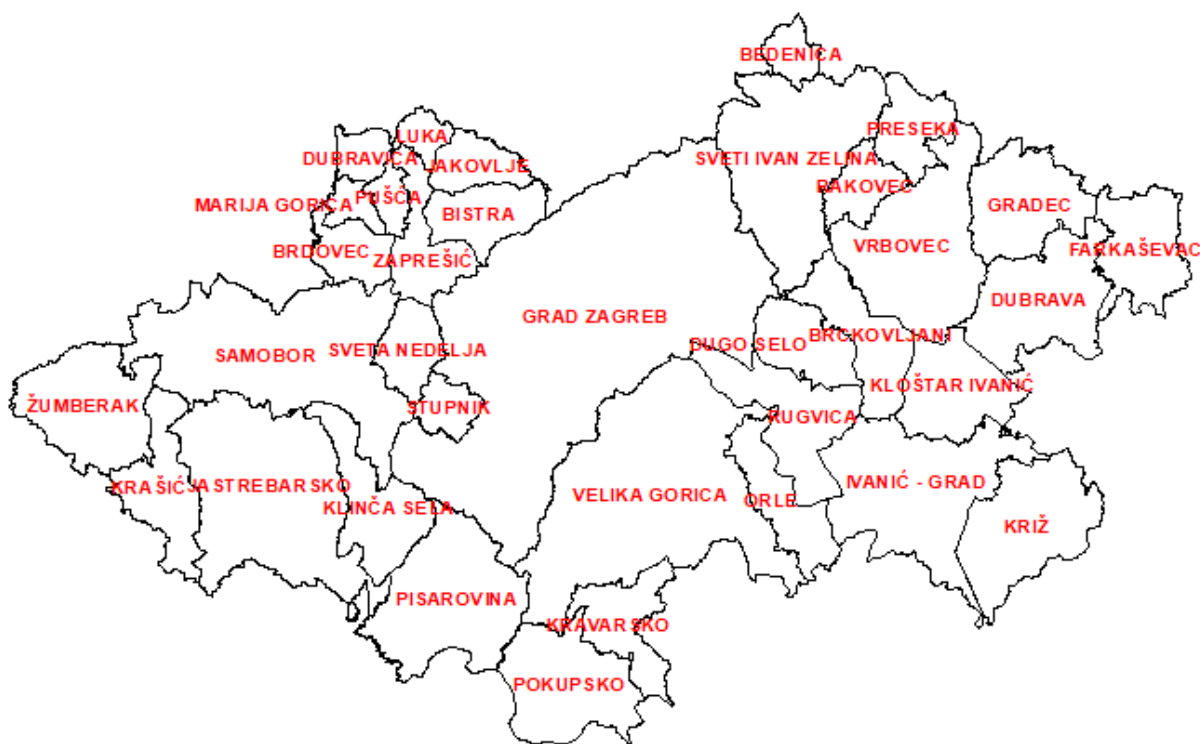
Područja do 200 m.n.v. zauzimaju 81,88% površine županije (doline rijeka Save, Krapine, Kupe, Zeline i Lonje). Brežuljkasti krajevi i pobrđa (200-500 m.n.v.) obuhvaćaju 12,47% (Marijagoričko pobrđe, Vukomeričke gorice, predgorja Medvednice, Žumberka i Samoborskog gorja), a površine iznad 500 m.n.v. 5,65%

ukupne površine županije (viši dijelovi Medvednice, Žumberka i Samoborskog gorja). Područja viša od 1000 m s ukupnom površinom manjom od 1 km<sup>2</sup> obuhvaćaju 0,07% površine županije (PPŽŽ 2002).



Sl. 3. Reljef Zagrebačke županije (izvor: PPŽŽ, 2002.)

Zagrebačka županija veličinom svog prostora (3078 km<sup>2</sup>) jedna je od većih županija u Hrvatskoj. Udio površine Županije u ukupnoj površini države iznosi 5,4 %. Danas se u sastavu Zagrebačke županije nalazi 9 gradova i 25 općina. Gradovi su: Dugo Selo, Ivanić Grad, Jastrebarsko, Samobor, Sveta Nedjelja, Sveti Ivan Zelina, Velika Gorica, Vrbovec i Zaprešić, a općine: Bedenica, Bistra, Brckovljani, Brdovec, Dubrava, Dubravica, Farkaševac, Gradec, Jakovlje, Klinča Sela, Kloštar Ivanić, Krašić, Kravarsko, Križ, Luka, Marija Gorica, Orle, Pisarovina, Pokupsko, Preseka, Puša, Rakovec, Rugvica, Stupnik i Žumberak (Slika 4.).



Sl. 4. Administrativna podjela Zagrebačke županije i grada Zagreba na gradove i općine (izvor: PPZZ, 2002.)

Broj stanovnika u devet gradova i 25 općina, odnosno 697 naselja, prema popisu iz 2011. iznosio je 317 642 (Izvor: službena web stranica Zagrebačke županije, 2019.) Znači da gustoća naseljenosti u Županiji iznosi 103 st./km<sup>2</sup>. To je iznad republičkog prosjeka (75,8 st./km<sup>2</sup>), a znatno ispod zagrebačkog (1237 st./km<sup>2</sup>).

## 2.2. Grad Zagreb

Grad Zagreb se nalazi u jugozapadnom, rubnom dijelu Panonske zavale. Površina gradskog područja iznosi 641 km<sup>2</sup>. Grad karakterizira dominacija nizinskih krajeva do 200 m nadmorske visine; samo na sjeveru (Medvednica) reljef je viši od 500 m.n.v (1033 m). Najveći dio užeg, urbaniziranog područja nalazi se na nadmorskim visinama između 110 i 125 m; jedino se dijelovi grada sjeverno od Ilice, Vlaške ulice i Maksimirske ceste nalaze na visinama iznad 130 m. Međutim, kako sjeverna granica grada prolazi glavnim grebenom Medvednice, na užem području Zagreba zastupljeni su svi reljefni oblici karakteristični i za Zagrebačku županiju. Od sjevera prema jugu dobro se izdvajaju visoki i uski greben Medvednice, strme padine, valovito prigorje raščlanjeno brojnim grebenima i udolinama, izdužena submontana udolina, terasne uzvisine (Gornji grad, Šalata) i prostrana aluvijalna nizina rijeke Save (Bertić 1994) (Slika 5.).

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine grad Zagreb ima 790 017 stanovnika koji žive u 17 gradskih četvrti i 70 naselja. S obzirom da je administrativna struktura grada 2009. godine izmijenjena tj. umjesto gradskih općina uspostavljene su četvrti i naselja, iz metodoloških razloga (nepostojanje konzistentnih nizova podataka o osobnim vozilima od 2007. godine) grad Zagreb nije bilo moguće analizirati na razini gradskih četvrti i naselja već samo u cijelosti.



*Sl. 5. Ortofoto karta grada Zagreba (Izvor: Geoportal grad Zagreb, 2018).*

### 3. Materijali i metode

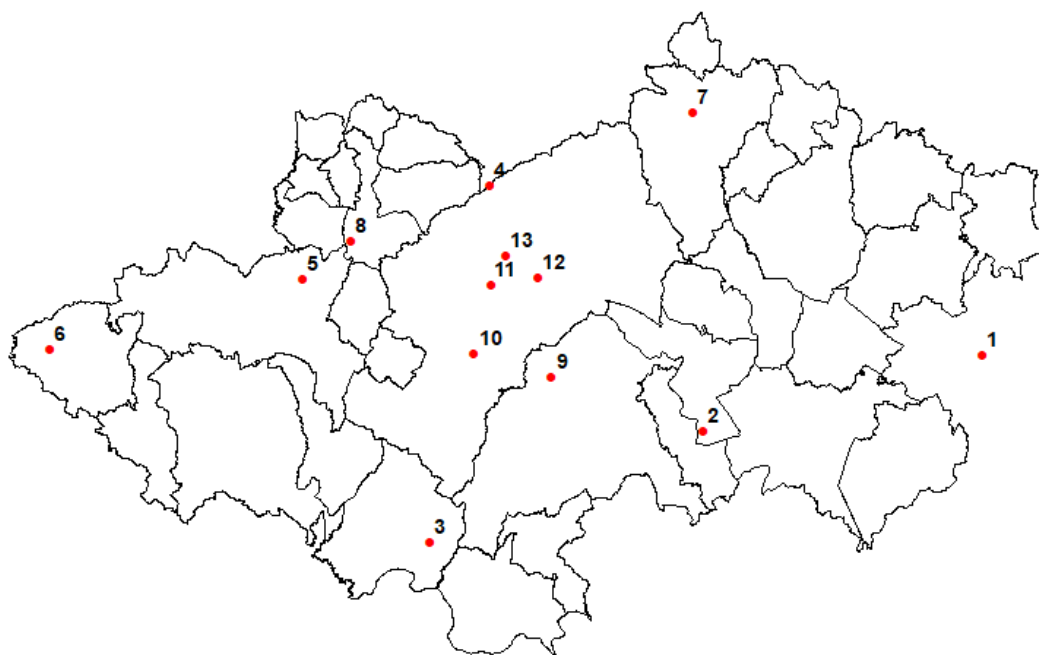
Istraživanje je obuhvatilo klimatske podatke za temperature i oborine, podatke o osobnim vozilima te podatke o emisijama CO<sub>2</sub> i šumskom pokrovu na području Zagrebačke županije i grada Zagreba.

#### 3.1. *Klimatski podaci*

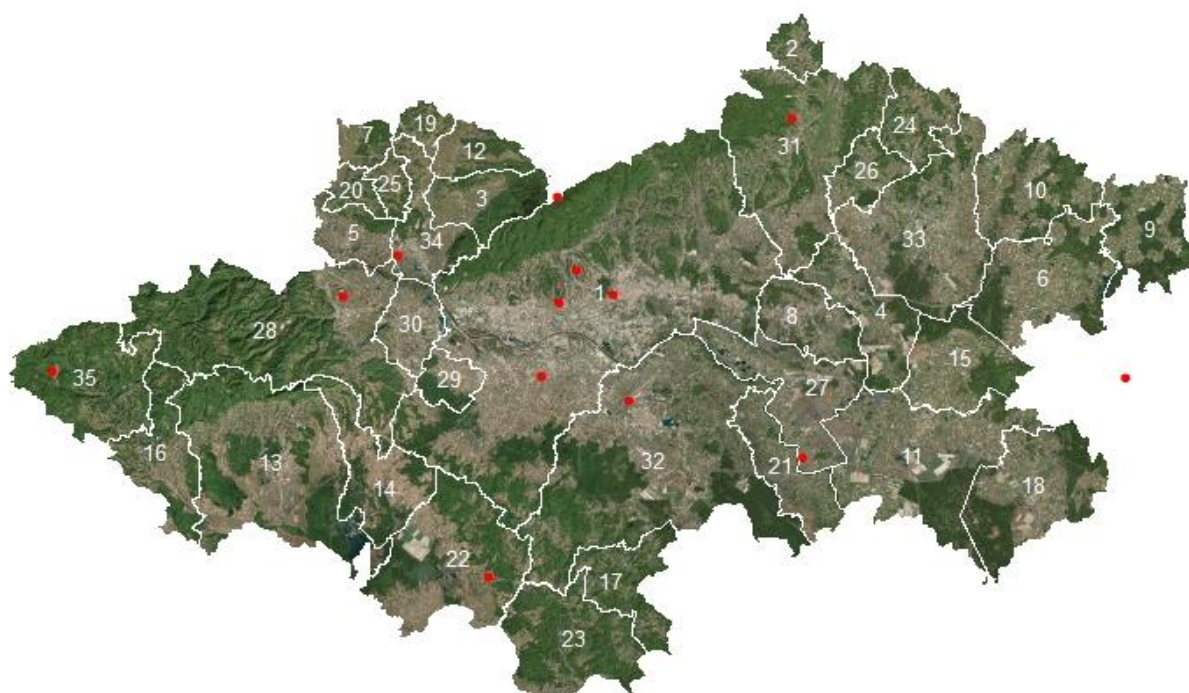
Klimatski parametri analizirani su u okviru 11 – godišnjeg vremenskog niza (2007. – 2017.) radi kompatibilnosti s podacima o vozilima, ali je zasebno uzet u obzir i 30 – godišnji niz da bi se mogao dati osvrt na recentnu promjenu klime. Podaci (Prilog 1.) dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda s 13 postaja (4 glavne automatske i 9 klimatoloških postaja) (Slika 6.) odnose se na srednje mjesečne vrijednosti temperature za svaku postaju, te ukupnu mjesečnu količinu oborina. Na temelju mjesečnih vrijednosti dobivene su godišnje (Prilog 2., 3.).

S obzirom na nedostatak podataka za određene općine i gradove, napravljeno je grupiranje prema sličnostima, odnosno prirodnim (geomorfološka homogenost prostora) i društvenim obilježjima područja (urbaniziranost, razvoj industrije, broj stanovnika), uzevši u obzir i udaljenost od najbliže klimatološke postaje (Slike 7. i 8.). Ukoliko podataka nije bilo u prvoj ili posljednjoj godini istraživanog perioda za klimatološku postaju, dodijeljena joj je vrijednost najbliže i morfološki najsličnije.

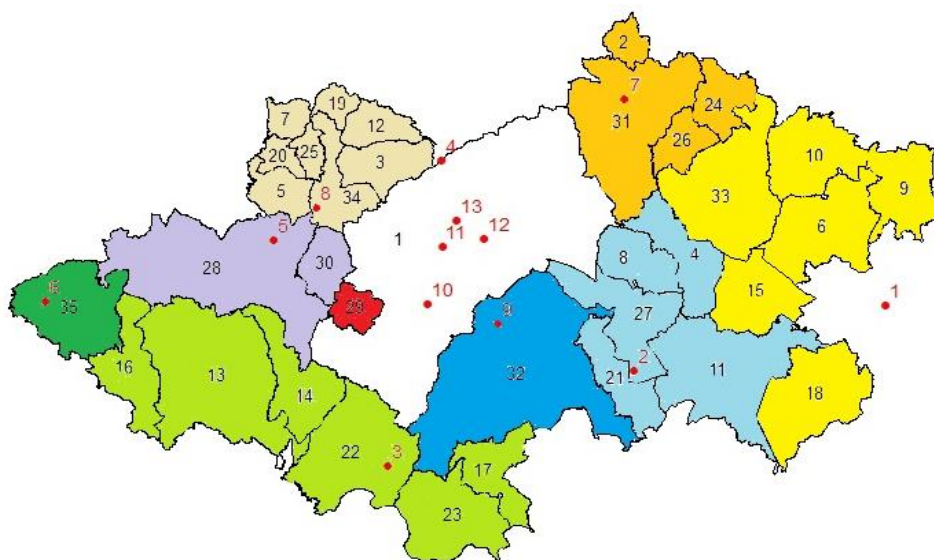




Sl. 6. Karta Zagrebačke županije i grada Zagreba s ucrtanim lokacijama 13 klimatoloških postaja (Izvor: Margareta Franković).



Sl. 7. Lokacije klimatoloških postaja na fizičkoj ortofoto karti istraživanog područja s preklapljenim slojem administrativnih jedinica na temelju koje je provedeno grupiranje (Izvor: Margareta Franković).



Sl. 8. Grupiranje općina i gradova po klimatološkim postajama prema sloju s administrativnim jedinicama i lokacijama postaja (Izvor: Margareta Franković).

### Legenda

→ Čazma

6 Dubrava  
9 Farkaševac  
10 Gradec  
15 Kloštar Ivanić  
18 Križ  
33 Vrbovec

→ Oborovo

4 Brckovljani  
8 Dugo Selo  
11 Ivanić – Grad  
21 Orle  
27 Rugvica

→ Pisarovina

13 Jastrebarsko  
14 Klinča Sela  
16 Krašić  
17 Kravarsko  
22 Pisarovina  
23 Pokupsko

→ Samobor

28 Samobor  
30 Sveta Nedjelja

→ Sošice

35 Žumberak

→ Sveti Ivan Zelina

2 Bedenica  
24 Preseka  
26 Rakovec  
31 Sveti Ivan Zelina

→ Šibice

3 Bistra  
5 Brdovec  
7 Dubravica  
12 Jakovlje  
19 Luka  
20 Marija Gorica  
25 Pušća  
34 Zaprešić

→ Zagreb aerodrom

32 Velika Gorica

→ Zagreb Botinec

29 Stupnik

→ Zagreb Maksimir

1 Zagreb

### 3.2. Šumski pokrov

Za potrebe istraživanja određene su površine pod šumskim pokrovom (Slika 9.) na razini cijelog istraživanog područja, kao i na površinama manjih administrativnih jedinica (gradova i općina) Zagrebačke županije i grada Zagreba (Prilog 9.).

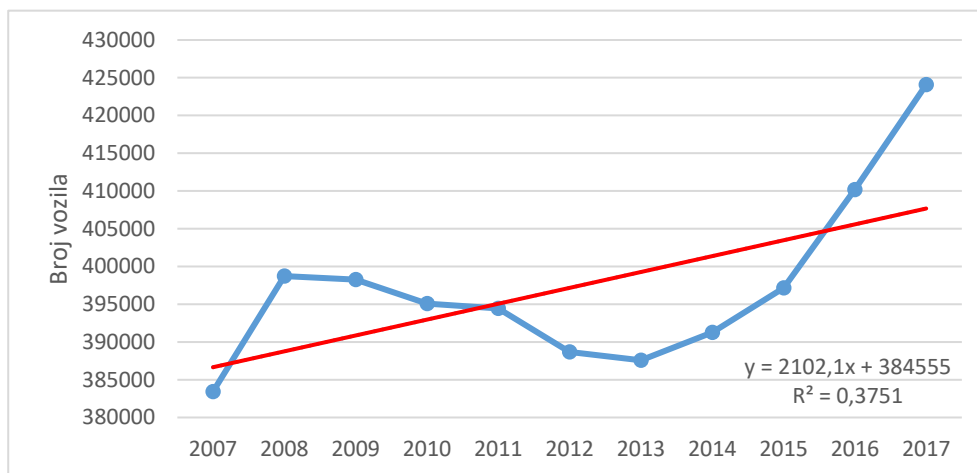


*Sl. 9. Administrativna podjela Zagrebačke županije i grad Zagreb na satelitskoj karti sa šumskim površinama (Izvor: Margareta Franković).*

### 3.3. Osobna vozila

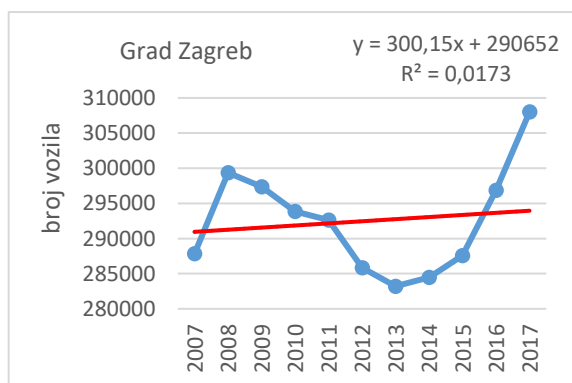
#### Broj vozila

Na području Zagrebačke županije i grada Zagreba vidljiv je linearni trend porasta broja osobnih vozila za 9.5% u razdoblju od 2007. do 2017. godine (Slika 10.).

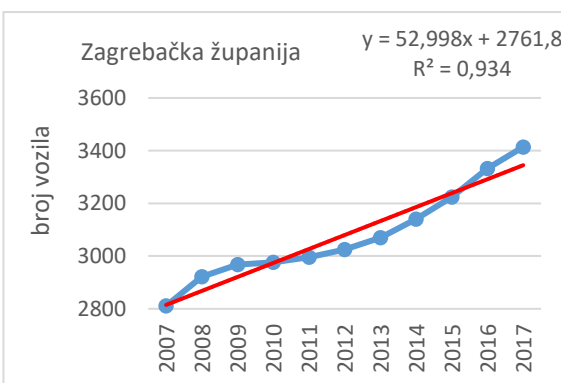


Sl. 10. Porast broja osobnih vozila u Zagrebačkoj županiji i gradu Zagrebu u razdoblju od 2007. do 2017. godine.

U gradu Zagrebu postoje značajne varijacije u porastu broja vozila, odnosno veća odstupanja od linearnog trenda (Slika 11.), dok je u Zagrebačkoj županiji porast broja vozila pravilnijeg kretanja, u skladu s linearnim trendom (Slika 12.). Razlog ovakvim varijacijama je svjetska ekonomska kriza koja je u 2008. g. zahvatila RH, kao i ostale države kao i činjenica da je oporavak i izlazak iz krize u RH bitno dulje trajao u odnosu na većinu ostalih država.



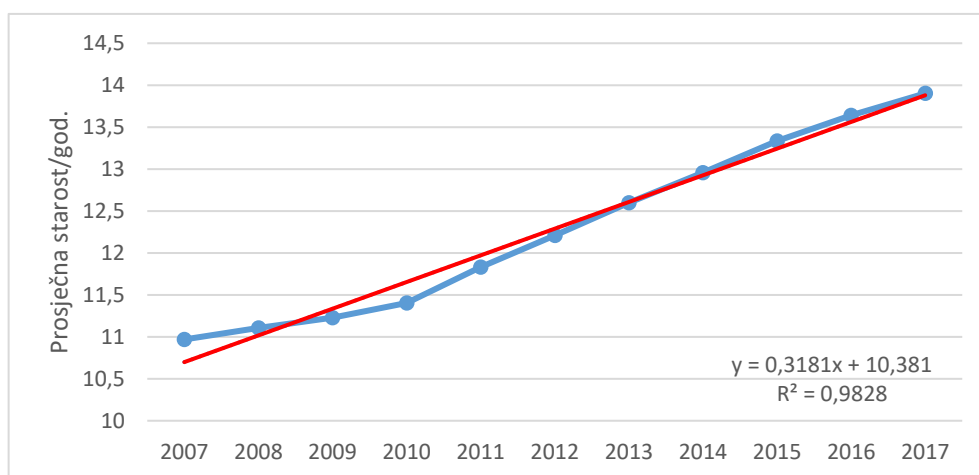
Sl. 11. Broj osobnih vozila u gradu Zagrebu 2007. – 2017.



Sl. 12. Broj osobnih vozila u Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.

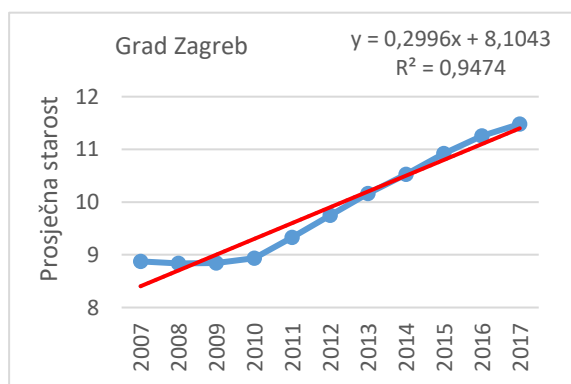
## Prosječna starost vozila

Čak 80% ukupnog CO<sub>2</sub> u prometu emitiraju vozila starija od 5 godina (Golubić 1999), što ukazuje na problem starosti voznog parka. Prosječna starost osobnih vozila u Zagrebačkoj županiji i gradu Zagrebu tijekom cijelog istraživanog razdoblja je u porastu te u 2017. godini iznosi 13,9 godina (Slika 13.).

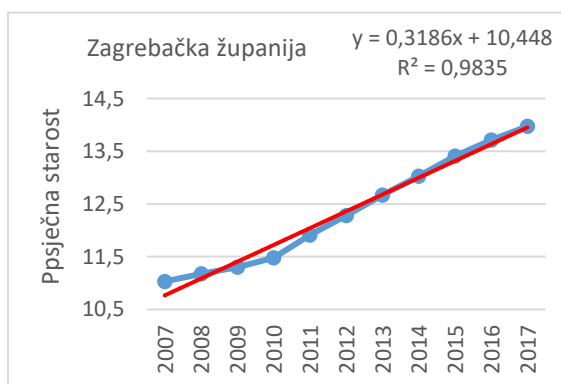


Sl. 13. Prosječna starost osobnog vozila u Zagrebačkoj županiji i gradu Zagrebu u razdoblju od 2007. do 2017. godine.

Na području grada Zagreba i Zagrebačke županije, porast je sličan i u skladu s linearnim trendom (Slika 14., 15.). Uočljive su razlike u prosječnoj starosti: u gradu Zagrebu vozila su za oko 2,5 godine mlađa nego u Zagrebačkoj županiji, što je u najvećoj mjeri povezano sa višim životnim standardom stanovništva.



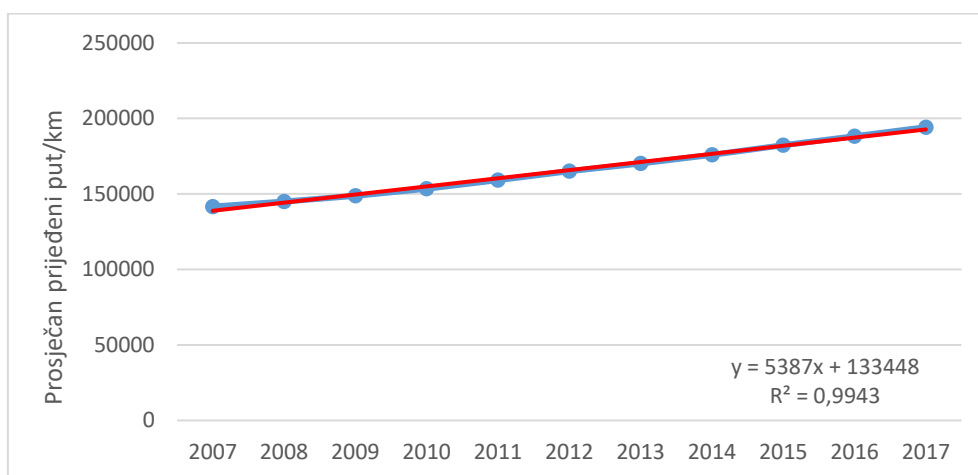
Sl. 14. Prosječna starost osobnih vozila u gradu Zagrebu 2007. – 2017.



Sl. 15. Prosječna starost osobnih vozila u Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.

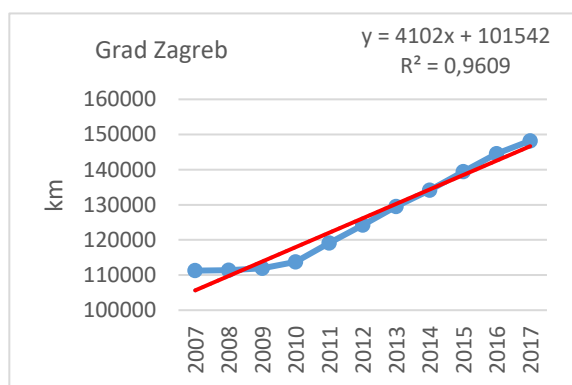
### Prosječan prijeđeni put

Na istraživanom području u razdoblju od 2007. do 2017. godine, prosječan prijeđeni put je u porastu te je u 2017. godini iznosio 194 206 km (Slika 16.). Trend porasta uglavnom je pravilan što je u skladu i s prosječnom starošću, međutim ne i brojem vozila. S obzirom na ekonomsku krizu, očito je došlo do smanjenja kupnje novih vozila, a starija vozila s velikim prijeđenim putem i dalje su ostala u prometu pa je prosječan prijeđeni put i dalje nastavio rasti.

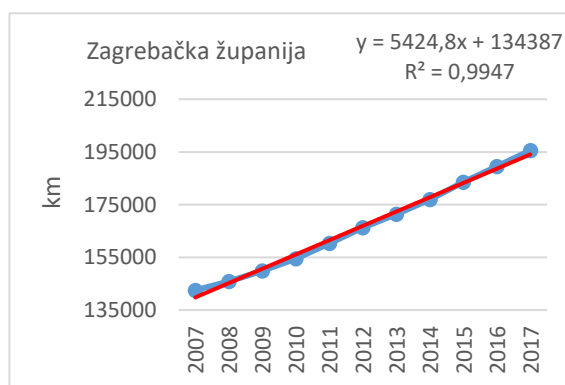


Sl. 16. Prosječan prijeđeni put osobnog vozila u Zagrebačkoj županiji i gradu Zagrebu u razdoblju od 2007. do 2017. godine.

Porast prosječnog prijeđenog puta osobnih vozila je i u gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji uglavnom pravilan, bez većih odstupanja (Slika 17., 18.).



Sl. 17. Prosječan prijeđeni put osobnih vozila u gradu Zagrebu 2007. – 2017.



Sl. 18. Prosječan prijeđeni put osobnih vozila u Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.



### 3.4. Odnos parametara osobnih vozila i klimatskih značajki

U analizi podataka o osobnim vozilima i promjenama u temperaturi i oborinama kroz godine primijenjene su statističke analize podataka, odnosno regresijska i longitudinalna analiza s ciljem utvrđivanja hijerarhije utjecaja nezavisnih varijabli koje se odnose na značajke osobnih vozila na zavisne varijable klime. Longitudinalna analiza se koristi u analizama promjena kroz vrijeme te dopušta odstupanja u mjerenjima, odnosno nije ovisna o jednakim razlikama u vrijednostima (Steele 2007). Pokazala se kao najbolja metoda analize istraživanih parametara s obzirom na duži period mjerenja od 11 godina te vrijednosti od kojih pojedine imaju velika odstupanja. Podaci su analizirani statističkim alatom R (verzija 3.5.3) pomoću paketa lme4.

Kao zavisne varijable korištene su vrijednosti temperature (u stupnjevima Celzijusa) i oborina (u milimetrima) izmjerene na klimatološkim postajama. Kao nezavisne varijable koristile su se prosječan prijeđeni put po km<sup>2</sup> (u tisućama kilometara), te gustoća vozila (ukupni prijeđeni put po km<sup>2</sup>). Ukupni prijeđeni put osobnih automobila može se prikazati kao umnožak broja osobnih automobila i njihovog prosječnog godišnjeg prijeđenog puta, uzevši u obzir i emisijske (Euro) razine, jednadžba (1) (Rešetar i sur., 2018).

$$m_k^{\text{total}} = n_k \times m_k, [\text{km}] \quad (1)$$

$n_k$  – broj OA emisijske razine  $k$ ,

$m_k$  – prosječni godišnji put [km] prijeđen s OA emisijske razine  $k$

Općine/gradovi Zagrebačke županije i grad Zagreb predstavljaju jedinice analize u obradi. Temperatura i oborine mjerene su svake godine za svaku klimatološku postaju, te su općine grupirane prema vrijednostima postaja uzimajući u obzir geografske zakonitosti, pa one predstavljaju zavisne uzorke u istraživanju. Ukoliko određena klimatološka postaja nije imala očitane vrijednosti za pojedine godine, dodijeljena joj je vrijednost najbliže postaje prema istim zakonitostima. Kako je veći broj općina i gradova često obuhvaćen jednom klimatološkom postajom, sve općine i gradovi koji spadaju pod istu klimatološku postaju imaju zabilježenu jednaku temperature i količinu oborina. Statistička analiza obuhvaća period od 2007. do 2017. godine (11 godina), te su varijable mjerene na razini godine.

### 3.5. Emisije ugljičnog dioksida

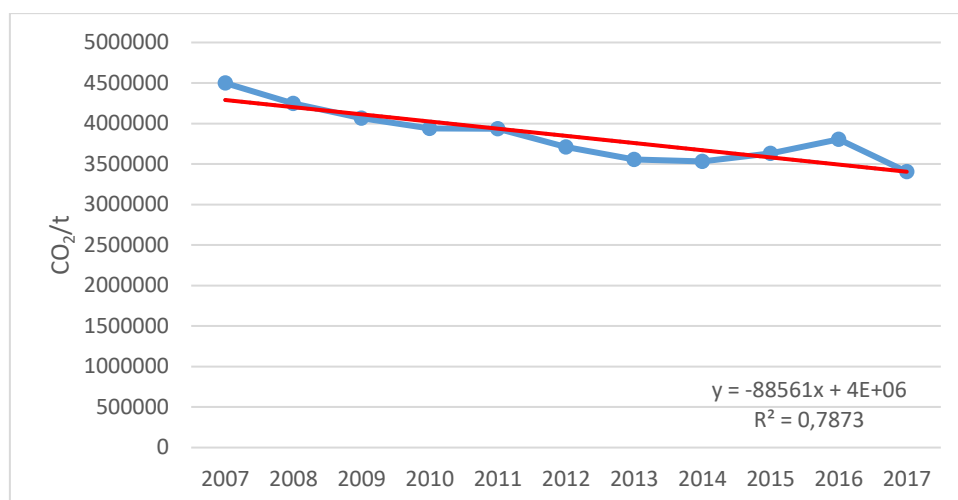
Za procjenu emisija osobnih vozila (OA) korišten je COPERT 5 (Tier 3) emisijski model. Glavni ulazni podaci uključuju meteorološke podatke, statističku potrošnju goriva, strukturu flote vozila, podatke o eksploataciji vozila i ostale COPERT 5 zadane podatke. Meteorološki podaci uključuju vrijednosti prosječnih najmanjih i najvećih mjesečnih temperatura kao i prosječnu mjesečnu relativnu vlažnost zraka. Statistička potrošnja goriva pretvorena u potrošnju energije može se koristiti za usklađivanje odnosa (ravnoteže) između potrošnje goriva i generiranih emisija. S obzirom da se podaci o potrošnji goriva odnose na ukupni cestovni transport, a ne na pojedinačnu kategoriju vozila poput osobnih vozila (OA), ti podaci nisu uzeti u izračun emisija. Kao što je već spomenuto, flota vozila isključivo je ograničena na osobna vozila (OA). Eksploatacijski podaci uključuju prosječne godišnje prijeđene puteve zajedno s prosječnim ukupnim prijeđenim putevima, prosječne brzine vožnje i udio puta prijeđen vozilima svake pojedine emisijske razine u pojedinom režimu vožnje (gradski / međugradski / autocestovni) (Rešetar i sur., 2018). U razdoblju od 2007. do 2017. godine, vidljiv je generalan trend smanjenja emisije osobnih vozila na području cijele Republike Hrvatske. Ipak, na grafikonu je uočljiv porast emisije nakon 2013. godine jer ulaskom u EU dolazi do porasta uvoza starijih vozila s nižim Euro normama tj. manjom čistoćom goriva, pa emisija CO<sub>2</sub> od 2014. raste (Slika 19.).

Tablica 1. Emisija ugljičnog dioksida osobnih vozila u Republici Hrvatskoj u periodu od 2007. do 2017. godine (Izvor: Rešetar i sur. 2018.).

Godina	CO <sub>2</sub> /t
2007.	4498604.452
2008.	4245979.491
2009.	4065547.144
2010.	3939536.343
2011.	3936630.768
2012.	3710123.234
2013.	3554043.439
2014.	3532614.784
2015.	3630918.821
2016.	3803097.574
2017. <sup>1</sup>	3404621.784

<sup>1</sup> Predikcija emisije za 2017. godinu je napravljena na temelju linearnog trenda emisija CO<sub>2</sub> kroz vrijeme te je dobivena regresijskom jednadžbom.





*Sl. 19. Linearan trend smanjenja emisije CO<sub>2</sub> osobnih vozila za Republiku Hrvatsku od 2007. do 2017. godine.*

Na temelju podataka o ukupnoj emisiji CO<sub>2</sub> osobnih vozila u Republici Hrvatskoj (Tablica 1.) izračunate su emisije ugljičnog dioksida osobnih vozila u tonama za gradove i općine od 2007. do 2017. godine (Prilog 7.). Podaci o emisiji CO<sub>2</sub> osobnih vozila za svaku administrativnu jedinicu dobiveni su prema površini svake jedinice te broju vozila.

Također, za 2016. godinu izračunate su procjenjene količine uskladištenog ugljika u šumskim površinama koje su sekvstrirane iz emisija osobnih vozila, tj. dana je procjena koliki postotak potencijalnog kapaciteta vezanja CO<sub>2</sub> čini ugljik iz emisija osobnih vozila (Prilog 8.). Potencijalni kapacitet vezanja CO<sub>2</sub>, odnosno količina uskladištenog ugljika iz emisija osobnih vozila, analiziran je na temelju površine šumskog pokrova na istraživanom području Zagrebačke županije i grada Zagreba. Analiza je temeljena na procjeni da šumska staništa geografskih umjerenih širina skladište 206 – 273 tone ugljika po hektaru (Matthews i sur. 2000).

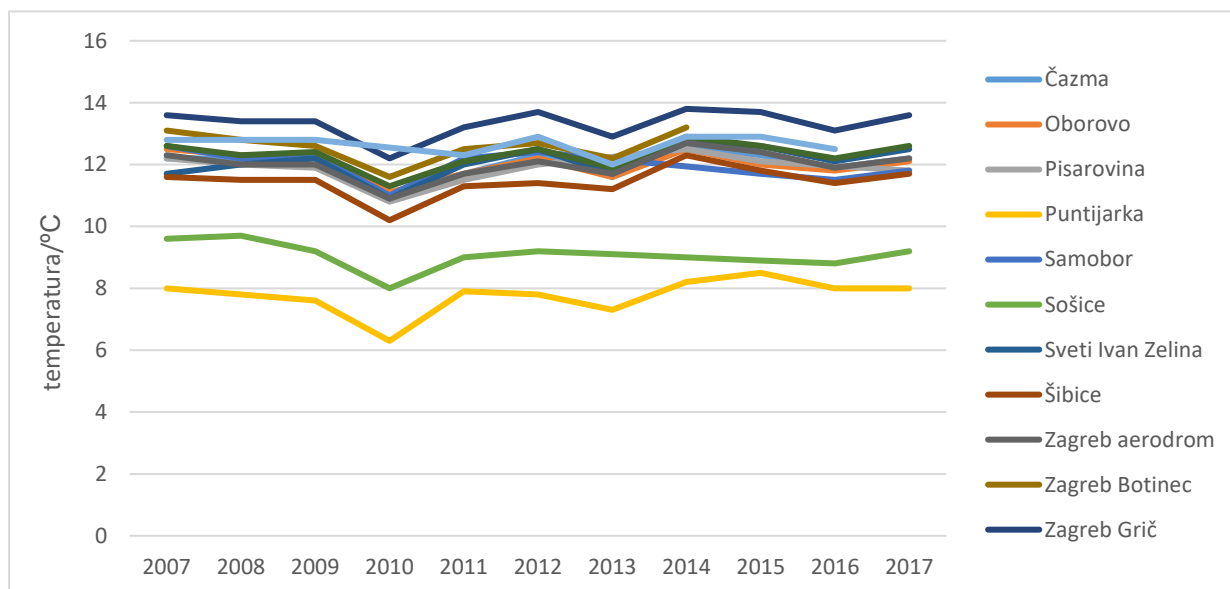
### *3.6. Odnos šumskog pokrova i ugljičnog dioksida*

Kako bi se utvrdila povezanost između emisija CO<sub>2</sub> iz osobnih vozila (u tonama) i površine šumskog pokrova (u hektarima) primijenjena je jednostavna linearna regresija s emisijama CO<sub>2</sub> kao nezavisnom te površinom šumskog pokrova kao zavisnom varijablom. Korišteni su podaci za 2016. godinu (Prilozi 7. i 9.) te su analizirani statističkim alatom SPSS (*Statistical Package for the Social Science*).

## 4. Rezultati

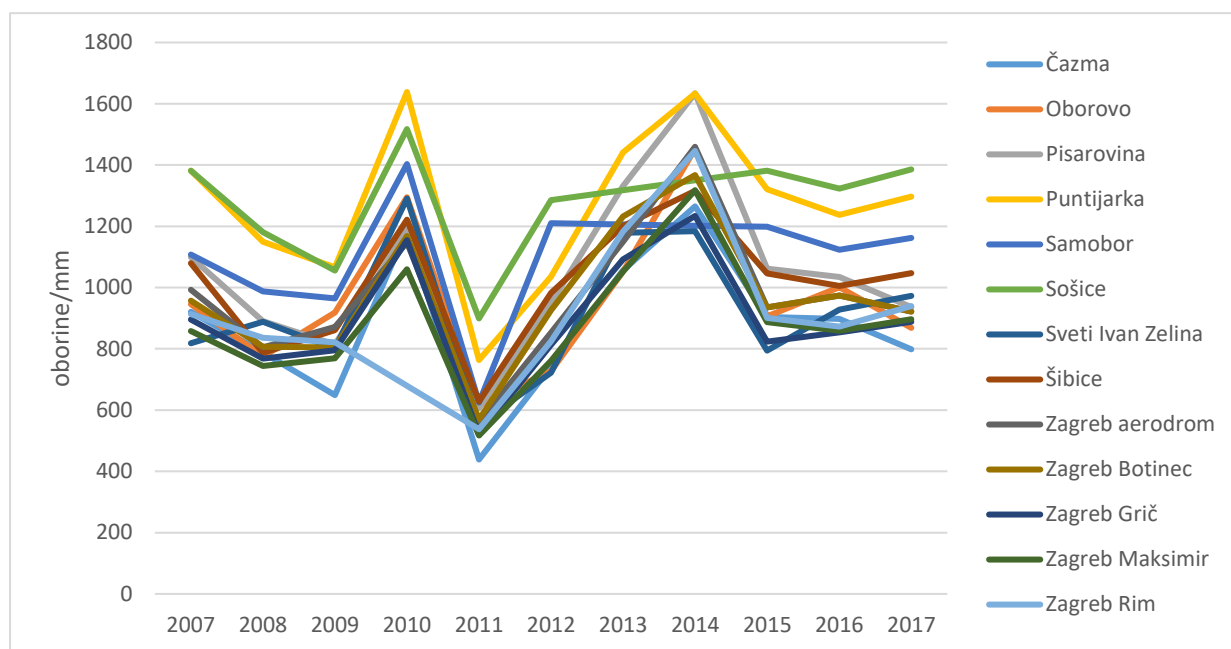
### 4.1. Klimatološke značajke u 11 – godišnjem razdoblju od 2007. do 2017. godine

Na slikama 20. i 21. prikazane su vrijednosti temperatura i oborina kroz 11-godišnje razdoblje za različite meteorološke postaje<sup>2</sup>. Iz prikaza je uočljivo da postaje uglavnom imaju slične vrijednosti temperature, uz manja odstupanja za pojedine postaje. Primjećuju se i dva odstupajuća rezultata koja imaju izrazito niže vrijednosti od ostalih, a radi se o postajama Sošice i osobito Puntijarki. Razlog je njihova viša nadmorska visina (520 i 991 mnv), a utjecaj vjerojatno ima i smještaj unutar velikih šumskih površina. Situacija je nešto drugačija kada se analiziraju linearni trendovi (Slika 22., 23.). Može se uočiti razlika između pojedinih postaja, odnosno prisutni su i porast i pad vrijednosti temperature. Porast je utvrđen na postajama: Čazma, Pisarovina, Puntijarka, Sveti Ivan Zelina, Šibice, Zagreb aerodrom, Zagreb Grič, Zagreb Maksimir, a pad na postajama: Oborovo, Samobor, Sošice, Zagreb Botinec i Zagreb Rim. Što se oborina tiče, varijacije su puno veće te je na svim postajama prisutan porast.

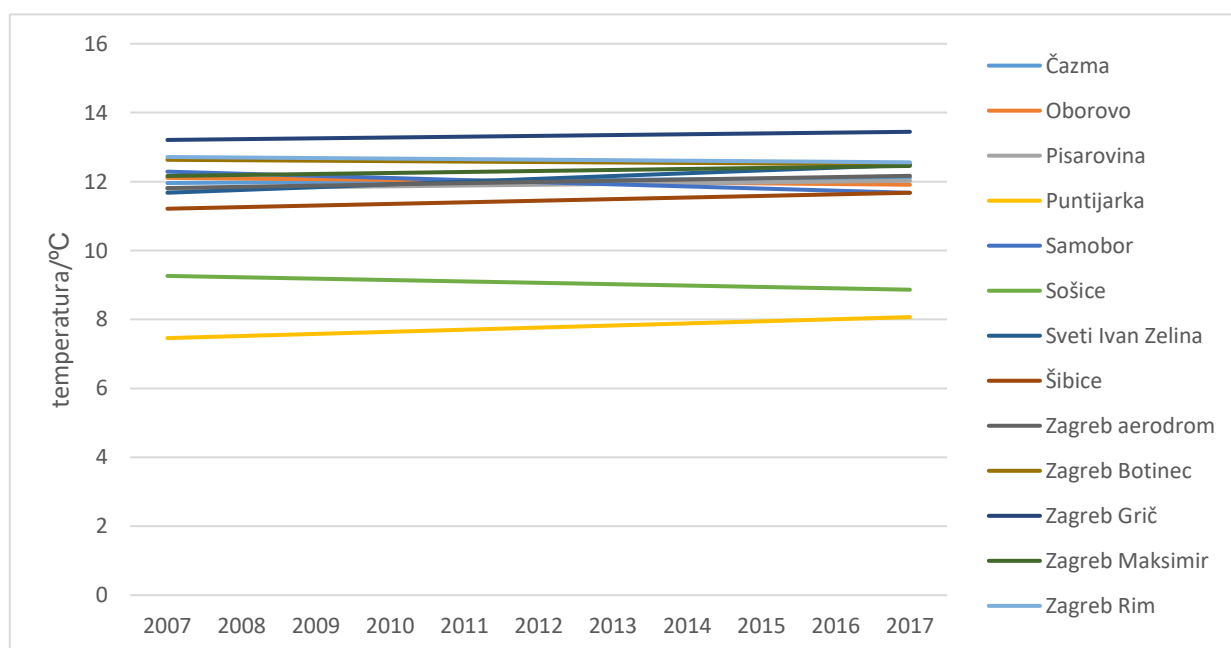


Slika 20. Prikaz vrijednosti temperatura kroz godine za 13 meteoroloških postaja.

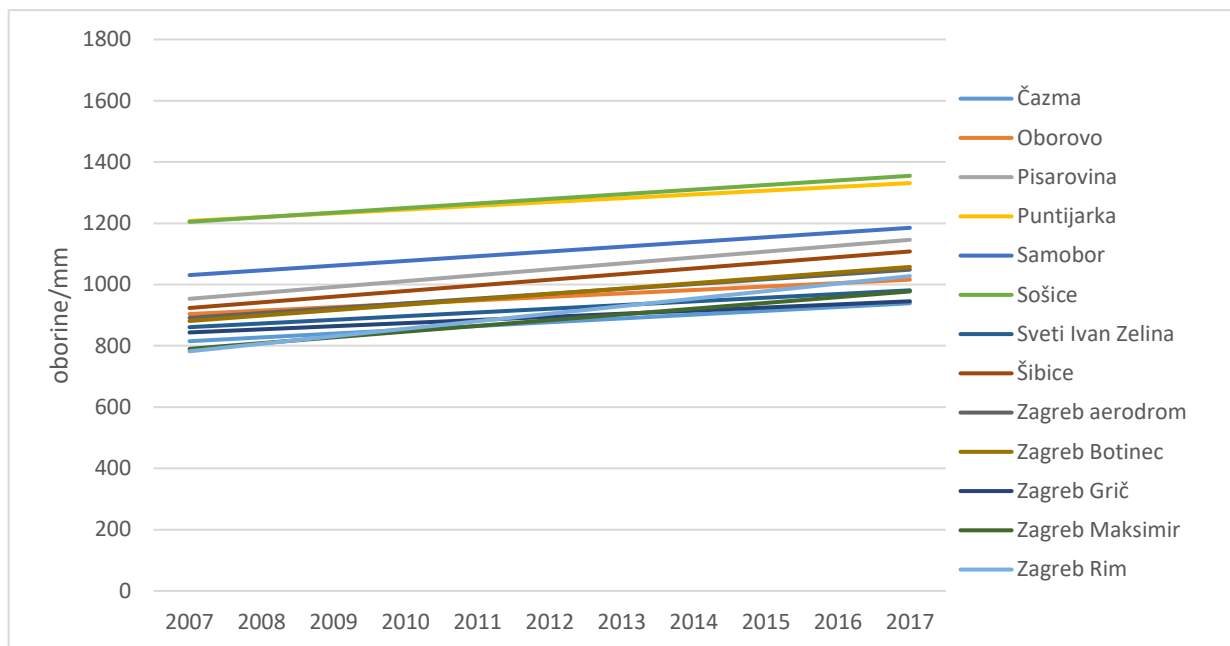
<sup>2</sup> U longitudinalnu analizu uvršteno je 10 klimatoloških postaja (zbog grupiranja prema gradovima i općinama), iako ih je u grafičkom prikazu uvršteno svih 13 radi bolje usporedbe.



Sl. 21. Prikaz vrijednosti oborina kroz godine za 13 meteoroloških postaja.



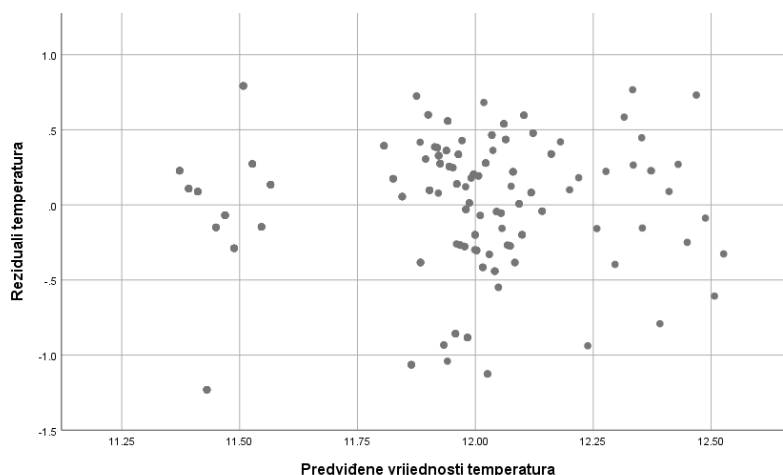
Sl. 22. Linearni trendovi temperature za klimatološke postaje u razdoblju od 2007. do 2017.



Sl. 23. Linearni trendovi oborina za klimatološke postaje u razdoblju od 2007. do 2017.

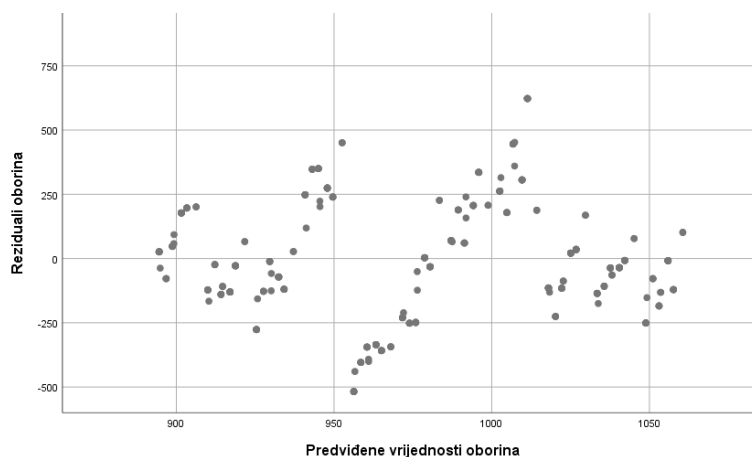
#### 4.1.1. Analiza odnosa parametara osobnih vozila i klimatoloških značajki

U regresijskoj analizi, ekstremno niske vrijednosti temperature klimatoloških postaja Sošice i Puntijarka nisu imale velik utjecaj na regresijske koeficijente pa su zadržane u obradi. Na slici 24. vidi se da je zadovoljen preduvjet linearne povezanosti varijabli i homogenosti varijance za zavisnu varijablu temperatura, s obzirom da podaci ne formiraju zakrivljeni oblik niti oblik lijevka.



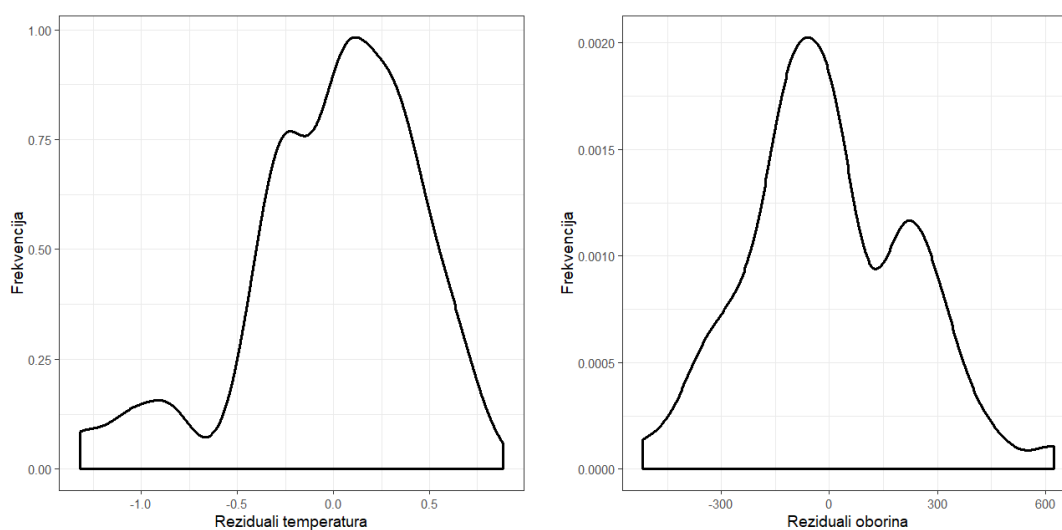
Slika 24. Predviđene vrijednosti i reziduali temperatura u modelu istovremenih efekata s nasumičnim presjecima.

Na slici 25., iz predviđenih vrijednosti i reziduala oborina, također možemo vidjeti da su varijable linearno povezane, no postoje blaga odstupanja od homogenosti varijance, što se vidi iz šireg raspona reziduala u srednjem dijelu predviđenih vrijednosti.



*Slika 25. Predviđene vrijednosti i reziduali oborina u modelu istovremenih efekata s nasumičnim presjecima.*

Na slici 26. prikazane su distribucije reziduala. Dobivene distribucije odstupaju od normalne, međutim regresijska analiza dopušta umjerena odstupanja od normalnosti, a najbitnije je da se većina reziduala grupira oko vrijednosti 0. Ovakve distribucije reziduala zadovoljile su uvjet približne normalnosti.



*Slika 26. Oblik distribucije reziduala za temperature i oborine modelima istovremenih efekata s nasumičnim presjecima.*

Nije bilo potrebno izvesti test normalnosti već je na temelju vizualne procjene utvrđeno da je zadovoljen uvjet normalnosti<sup>3</sup>.

U Tablici 2 možemo vidjeti statističke podatke aritmetičke sredine (M), standardne devijacije (SD) te broj mjerenja koji je uvršten u analizu (n) za temperaturu, oborine i prosječan prijeđeni put.

*Tablica 2. Deskriptivna statistika temperatura, oborina i prosječnog prijeđenog puta po km<sup>2</sup> za svaku meteorološku postaju.*

Meteorološka postaja	Temperatura (°C)		Oborine (mm)		Temp. i oborine	Put (mil. km / km <sup>2</sup> )		
	M	SD	M	SD	n	M	SD	n
Čazma	12.04	0.42	877.03	236.65	11	2.90	1.38	66
Oborovo	12.01	0.43	959.81	241.94	11	6.41	5.47	55
Pisarovina	11.91	0.45	1049.77	272.60	11	2.24	1.20	66
Samobor	11.98	0.46	1108.04	199.06	11	16.28	9.39	22
Šibice	11.45	0.51	1015.78	200.18	11	9.33	6.16	88
Sošice	9.06	0.45	1279.87	173.64	11	0.34	0.07	11
Sveti Ivan Zelina	12.08	0.52	921.08	221.51	11	3.07	1.52	44
Zagreb aerodrom	11.99	0.47	970.06	229.31	11	10.06	1.57	11
Zagreb Botinec	12.47	0.48	969.28	220.47	11	9.55	2.25	11
Zagreb Maksimir	12.31	0.43	883.79	207.78	11	57.55	6.84	11

<sup>3</sup> Na velikim uzorcima testovi normalnosti nisu pouzdani jer uključuju matematičke izračune, a vizualna inspekcija subjektivnu procjenu oblika distribucije te je ona zapravo superiorna metoda (<https://stats.stackexchange.com/questions/2492/is-normality-testing-essentially-useless> 2016). Stoga, test normalnosti nije korišten u ovom radu. Zbog *central limit theorem*a nije niti potrebno testirati normalnost na velikim uzorcima, jer će izračuni ipak biti točni iz bilo kakve distribucije podataka (<https://www.statisticssolutions.com/normality/> 2013). Također, regresija je otporna na male otklone od normalnosti čak i kada se ne radi o velikim uzorcima, i utjecaj nenormalnosti distribucije nema velik utjecaj na dobivene koeficijente.

#### 4.1.1.1. Utjecaj osobnih vozila na temperaturu

Prvo su analizirani podaci za temperaturu. Tablica 3 sadrži usporedbe različitih konstruiranih modela. Prikazani su istovremeni efekti, te odgođeni efekti od tri godine.

Tablica 3. Usporedbe modela kojima se utvrđuje utjecaj osobnih vozila na temperaturu.

Model	AICc	R <sup>2</sup> M	R <sup>2</sup> C	$\chi^2$	df	p	Usporedba s
1. Nasumični presjek	529,8	0,0033	0,823	-	-	-	-
2. Nasumični nagib	529,5	0,0009	0,832	8,708	4	0,069	1
3. Prosječni put	530,4	0,0021	0,839	1,170	1	0,279	2
4. Prosječni put*Vrijeme	521,2	0,0081	0,842	11,36	1	0,001	3
5. Gustoća vozila	531,5	0,0010	0,832	0,040	1	0,842	2
6. Gustoća vozila*Vrijeme	533,6	0,0009	0,832	0,001	1	0,981	5
7. Nasumični presjek (t-3)	364,0	0,0593	0,856	-	-	-	-
8. Nasumični nagib (t-3)	371,6	0,0526	0,858	0,834	4	0,934	7
9. Prosječni put (t-3)	363,9	0,0647	0,849	0,000	3	1	7
10. Prosječni put*Vrijeme (t-3)	329,1	0,0817	0,869	36,85	1	<0,001	9
11. Gustoća vozila (t-3)	365,9	0,0604	0,854	0,655	3	0,884	7
12. Gustoća vozila*Vrijeme (t-3)	367,8	0,0605	0,853	0,205	1	0,651	11

\* - interakcija među prediktorima, (t-3) – odnosi se na model s odgođenim efektom od 3 godine, AICc – korigirani Akaike informacijski kriterij, R<sup>2</sup>M – prilagođeni marginalni koeficijent determinacije, R<sup>2</sup>C – prilagođeni uvjetni koeficijent determinacije; AICc istovremenih modela i modela sa zakašnjenjem nisu međusobno usporedivi, stupac „Usporedba s“ odnosi se na redni broj modela s kojim je zadani model uspoređivan hi-kvadrat testom

Za odgođene efekte od 3 godine konstruiran je temeljni model s nasumičnim efektima za općine i gradove koji su se odnosili samo na presjek. Godine statistički značajno predviđaju temperaturu, s time da se kroz 11 – godišnje razdoblje očekuje prosječni porast od 0,12 °C. Radi se o srednjoj veličini efekta ( $\beta = 0,36$ ). U drugi model dodani su i nasumični nagibi za općine, no po AICc možemo vidjeti da model nije prikladniji za objašnjavanje podataka, da nije došlo do porasta u količini objašnjene varijance, te da hi-kvadrat test nije statistički značajan ( $\chi^2(4) = 0,834$ ,  $p = 0,934$ ). To ukazuje da sve općine imaju sličan linearan trend porasta temperature kroz godine. Stoga su ostali modeli konstruirani samo s pretpostavkom nasumičnog presjeka.

U sljedeći model dodana je varijabla prosječnog prijeđenog puta. To nije rezultiralo statistički značajnim poboljšanjem modela ( $\chi^2(0) = 3$ ,  $p = 1$ ). Dodana je interakcija puta s protokom vremena kako bi se provjerilo razlikuje li se trend promjene temperatura i oborina između općina s različitim vrijednostima prosječnog prijeđenog puta, te je ona bila statistički značajna ( $\chi^2(1) = 36,85$ ,  $p < 0,001$ ).

To ukazuje na činjenicu da u općinama i gradovima s većim vrijednostima prijeđenog puta (u prosjeku starija vozila s većim udjelom goriva nižih emisijskih razina tj. Euro normi) s godinama temperatura raste u većoj mjeri nego u općinama s nižim vrijednostima prijeđenog puta, i to uz odgođeni efekt od tri godine. Interakcijski efekt snažno je izražen ( $\beta = -2,309$ ).

Na temeljni model s nasumičnim presjecima dodana je varijabla gustoće vozila. Niti glavni efekti, niti interakcija s vremenom nisu se pokazali statistički značajnima u istovremenim i odgođenim modelima.

Kao što se vidi iz vrijednosti marginalne objašnjene varijance, najbolji model objasnio je 8,17% varijance rezultata u temperaturi. U nastavku su prikazani temeljni (Tablica 4.) i završni (Tablica 5.) modeli s odgođenim efektom od tri godine.

*Tablica 4. Temeljni model s nasumičnim nagibom općina i gradova kojim se predviđaju vrijednosti temperature.*

Fiksni efekti	b	SE	$\beta$	SE	t	p
Presjek	11,244	0,316	-	-	35,60	<0,001
Vrijeme	0,117	0,011	0,363	0,339	10,71	<0,001
Nasumični efekti			Varijanca			
Postaja (presjek)			0,971			
Općina/grad (presjek)			0			
Reziduali			0,172			

b – regresijski nestandardizirani koeficijenti,  $\beta$  – regresijski standardizirani koeficijenti, SE – standardna pogreška b i  $\beta$  koeficijenata, t – rezultat t-testa, p – statistička značajnost t-testa, nasumični efekti općina/gradova odnose se na variranje pojedinih općina/gradova unutar pripadajuće postaje



*Tablica 5. Završni model s prijeđenim putem (i nasumičnim nagibima općina/gradova) kojim se predviđaju vrijednosti temperature.*

Fiksni efekti	b	SE	$\beta$	SE	t	p
Presjek	9,181	0,651	-	-	14,10	<0,001
Vrijeme	0,786	0,105	2,435	0,325	7,48	<0,001
Prosječni put	0,0136	0,0041	0,312	0,093	3,34	0,001
Prosječni put*Vrijeme	-0,00419	0,00067	-2,309	0,369	-6,25	<0,001
Nasumični efekti			Varijanca			
Postaja (presjek)			0,922			
Općina/grad (presjek)			0			
Reziduali			0,154			

b – regresijski nestandardizirani koeficijenti,  $\beta$  – regresijski standardizirani koeficijenti, SE – standardna pogreška b i  $\beta$  koeficijenata, t – rezultat t-testa, p – statistička značajnost t-testa, nasumični efekti općina/gradova odnose se na variranja pojedinih općina/gradova unutar pripadajuće postaje

#### *4.1.1.2. Utjecaj osobnih vozila na oborine*

Nakon temperature, analizirani su podaci za oborine. Tablica 6 sadrži usporedbe različitih konstruiranih modela. Prikazani su istovremeni efekti, te odgođeni efekti od jedne godine, jer su jednogodišnji modeli bili najprikladniji.

Za odgođene efekte od jedne godine konstruiran je novi temeljni model s nasumičnim efektima za općine i gradove koji su se odnosili samo na presjek. Godine statistički značajno predviđaju oborine, s prosječnim porastom u 11-godišnjem razdoblju od 21,84 mm. Radi se o maloj veličini efekta ( $\beta = 0,257$ ). U drugi model dodani su i nasumični nagibi za općine i gradove, no model nije prikladniji za objašnjavanje podataka ( $\chi^2 (4) = 0,717$ ,  $p = 0,949$ ). Ostali modeli konstruirani su samo s pretpostavkom nasumičnog presjeka.

Tablica 6. Usporedbe modela kojima se utvrđuje utjecaj osobnih vozila na oborine.

Model	AICc	R <sup>2</sup> M	R <sup>2</sup> C	$\chi^2$	$\frac{d}{f}$	p	Usporedba s
1. Nasumični presjek	5262,4	0,040	0,213	-	-	-	-
2. Nasumični nagib	5270,4	0,042	0,214	0,273	4	0,992	1
3. Prosječni put	5264,4	0,040	0,216	0,263	3	0,967	2
4. Prosječni put*Vrijeme	5263,5	0,046	0,222	3,012	1	0,083	3
5. Gustoća vozila	5263,6	0,044	0,216	0,000	3	1	2
6. Gustoća vozila*Vrijeme	5265,6	0,044	0,215	0,033	1	0,855	5
7. Nasumični presjek (t-1)	4806,7	0,063	0,204	-	-	-	-
8. Nasumični nagib (t-1)	4814,4	0,066	0,209	0,717	4	0,949	7
9. Prosječni put (t-1)	4808,8	0,062	0,208	0,714	3	0,870	7
10. Prosječni put*Vrijeme (t-1)	4797,2	0,093	0,243	13,68	1	<0,001	9
11. Gustoća vozila (t-1)	4808,1	0,066	0,209	0,000	3	1	7
12. Gustoća vozila*Vrijeme(t-1)	4810,2	0,066	0,209	0,001	1	0,971	11

\* - interakcija među prediktorima, (t-3) – odnosi se na model s odgođenim efektom od 3 godine, AICc – korigirani Akaike informacijski kriterij, R<sup>2</sup>M – prilagođeni marginalni koeficijent determinacije, R<sup>2</sup>C – prilagođeni uvjetni koeficijent determinacije; AICc istovremenih modela i modela sa zakašnjenjem nisu međusobno usporedivi, stupac „Usporedba s“ odnosi se na redni broj modela s kojim je zadani model uspoređivan hi-kvadrat testom

U sljedeći model dodana je varijabla gustoće vozila, odnosno ukupnog prijeđenog puta po km<sup>2</sup>. To nije rezultiralo statistički značajnim poboljšanjem modela ( $\chi^2(1) = 0,714$ , p = 0,870). Interakcija prosječnog prijeđenog puta s protokom vremena bila je pak statistički značajna ( $\chi^2(1) = 13,68$ , p = <,001).

To ukazuje da u općinama i gradovima s većim vrijednostima prijeđenog puta s godinama količina oborina raste u većoj mjeri nego kod općina s nižim vrijednostima prijeđenog puta, i to uz odgođeni efekt od jedne godine. Interakcijski efekt snažno je izražen ( $\beta = -1,921$ ).

Kao što se vidi iz vrijednosti marginalne objašnjene varijance, najbolji model objasnio je 9,3% varijance rezultata oborina. U nastavku su prikazani temeljni (Tablica 7.) i završni (Tablica 8.) modeli s odgođenim efektom od jedne godine.

*Tablica 7. Temeljni model s nasumičnim presjekom općina i gradova kojim se predviđaju vrijednosti oborina.*

Fiksni efekti	b	SE	$\beta$	SE	t	p
Presjek	899,566	38,500	-	-	23,37	<0,001
Vrijeme	21,842	4,166	0,257	0,049	5,24	<0,001
Nasumični efekti			Varijanca			
Postaja (presjek)			8909			
Općina/grad (presjek)			0			
Reziduali			50118			

b – regresijski nestandardizirani koeficijenti,  $\beta$  – regresijski standardizirani koeficijenti, SE – standardna pogreška b i  $\beta$  koeficijenata, t – rezultat t-testa, p – statistička značajnost t-testa, nasumični efekti općina/gradova odnose se na variranja pojedinih općina/gradova unutar pripadajuće postaje

*Tablica 8. Završni model s prijeđenim putem po km<sup>2</sup> (i nasumičnim presjecima općina/gradova) kojim se predviđaju vrijednosti oborina.*

Fiksni efekti	b	SE	$\beta$	SE	t	p
Presjek	176,880	256,710	-	-	0,68	0,491
Vrijeme	157,107	37,131	1,855	0,438	4,23	<0,001
Prosječni put	4,804	1,770	0,394	0,145	2,71	0,007
Prosječni put*Vrijeme	-0,856	0,230	-1,921	0,515	-3,73	<0,001
Nasumični efekti			Varijanca			
Postaja (presjek)			9615			
Općina/grad (presjek)			0			
Reziduali			48354			

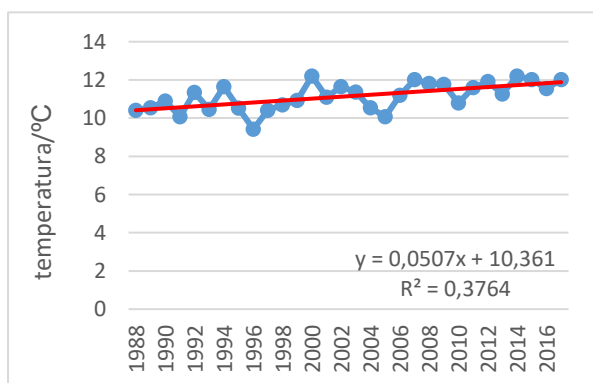
b – regresijski nestandardizirani koeficijenti,  $\beta$  – regresijski standardizirani koeficijenti, SE – standardna pogreška b i  $\beta$  koeficijenata, t – rezultat t-testa, p – statistička značajnost t-testa, nasumični efekti općina/gradova odnose se na variranja pojedinih općina/gradova unutar pripadajuće postaje

## 4.2. Klimatske promjene u 30 – godišnjem razdoblju od 1988. do 2017. godine

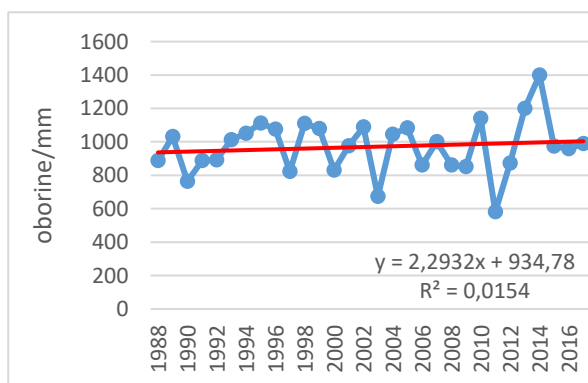
Na temelju podataka za 13 klimatoloških postaja na istraživanom području (Prilog 2., 3.) konstruirani su trendovi promjene temperature i oborina za grad Zagreb, Zagrebačku županiju i istraživano područje u cijelosti (grad Zagreb i Zagrebačka županija) za 30 – godišnje razdoblje (Slika 27. – 32.). Uočljiv je porast temperature na većini mjernih postaja, izuzev postaje Sošice. Razlog tome vjerojatno dijelom leži u njezinom specifičnom geografskom položaju (veća nadmorska visina, brdovito okruženje, slabiji antropogeni utjecaj na prostor), međutim potrebna su detaljnija istraživanja da bi se ispitale navedene pretpostavke i utvrdili svi ostali faktori koji utječu na dugogodišnji prosječni pad temperature na ovoj postaji. Što se ostalih postaja tiče, trendovi su očekivani i u skladu s globalnim pokazateljima koji upućuju na kontinuirani porast temperature (<https://www.mzoip.hr/hr/klima/prilogodba-klimatskim-promjenama.html>, <http://klima.mzoip.hr/default.aspx?id=86>).

Grafovi kretanja temperature i oborina ukazuju na izrazitu varijabilnost vrijednosti oborina u odnosu na temperature (Slika 27. – 32.) tijekom istraživanog razdoblja, što se vidi iz koeficijenata varijacije (Tablica 9.) izračunatih na temelju vrijednosti iz Priloga 2. i 3. Ta varijabilnost još je izraženija tijekom novijeg 11-godišnjeg razdoblja (2007. – 2017.), osobito između 2009. i 2015. godine. Ova činjenica potvrđuje globalne spoznaje o povećanju varijabilnosti oborina kao jednoj od posljedica klimatskih promjena (Pendergrass i sur. 2017).

- grad Zagreb

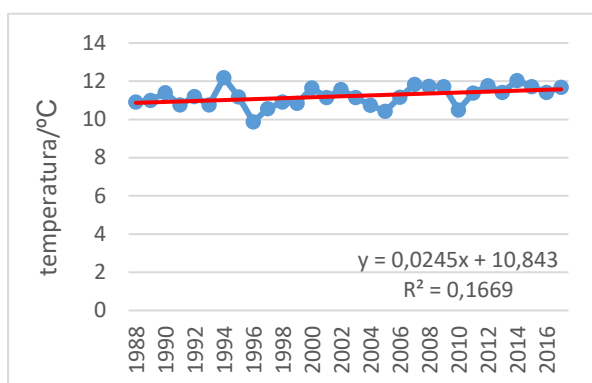


Sl. 27. Kretanje vrijednosti srednje godišnje temperature u gradu Zagrebu 1988. – 2017.

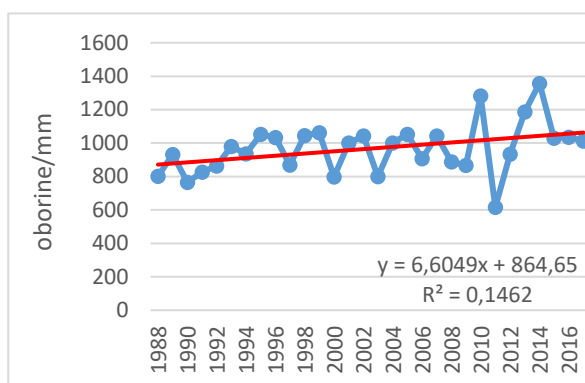


Sl. 28. Kretanje vrijednosti srednje godišnje količine oborina u gradu Zagrebu 1988. – 2017.

- Zagrebačka županija

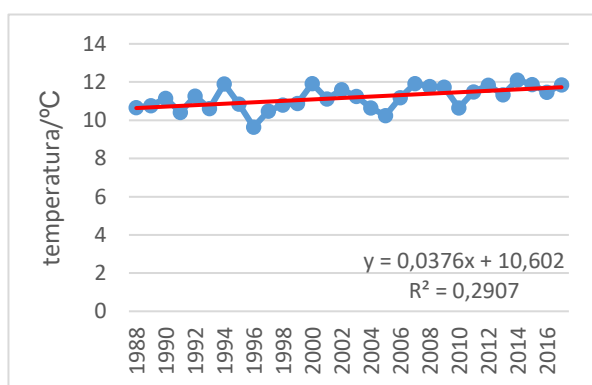


Sl. 29. Kretanje vrijednosti srednje godišnje temperature u Zagrebačkoj županiji 1988. – 2017.

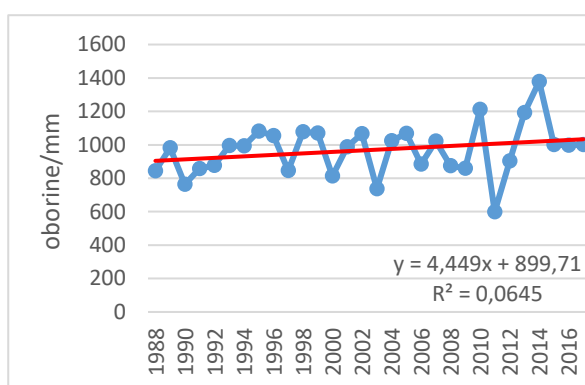


Sl. 30. Kretanje vrijednosti srednje godišnje količine oborina u Zagrebačkoj županiji 1988. – 2017.

- grad Zagreb i Zagrebačka županija



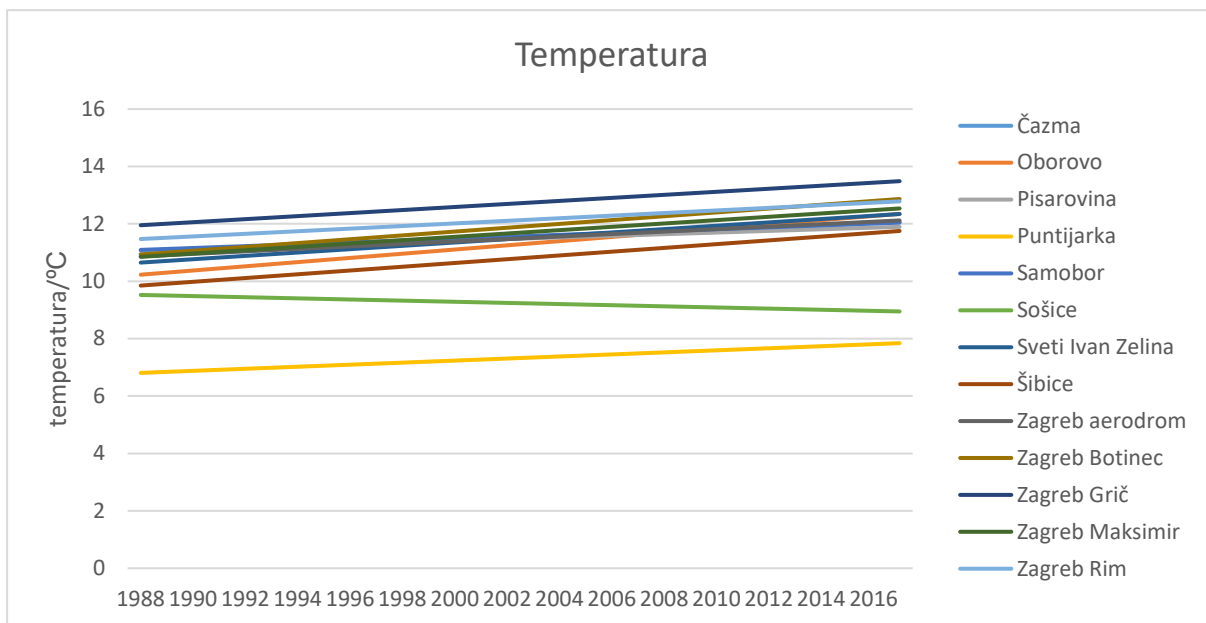
Sl. 31. Kretanje vrijednosti srednje godišnje temperature u gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji 1988. – 2017.



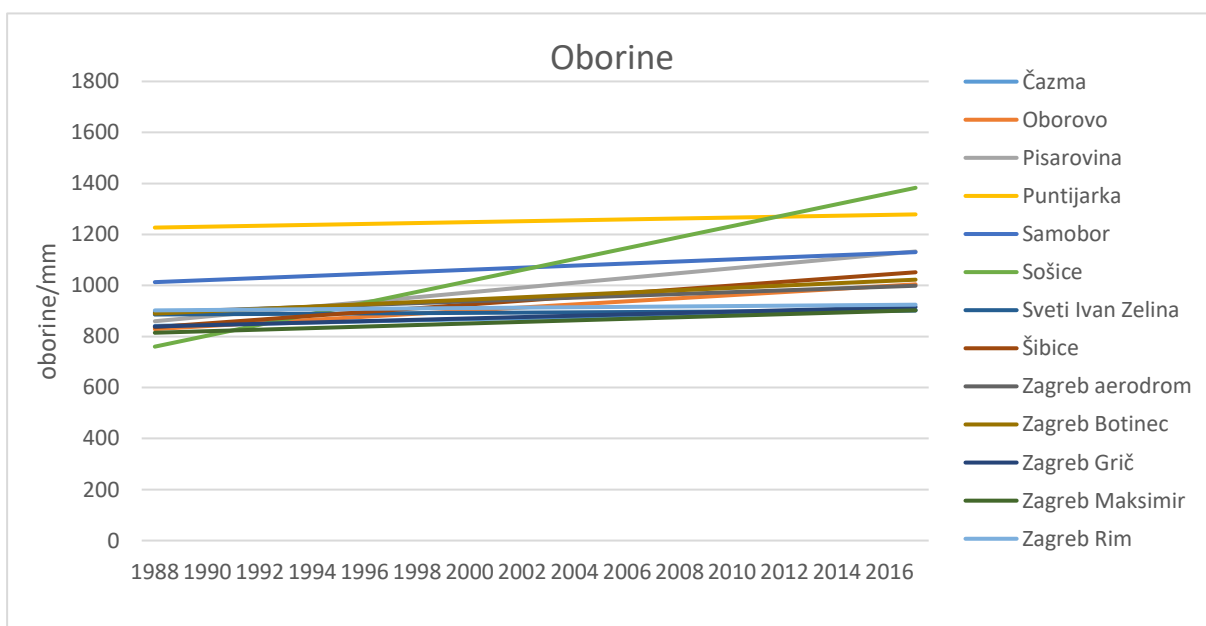
Sl. 32. Kretanje vrijednosti srednje godišnje količine oborina u gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji 1988. – 2017.

Iz linearnih jednadžbi regresijskih pravaca za sve postaje (Slika 33. i 34.) dobivene su vrijednosti za Zagrebačku županiju, grad Zagreb i cijelo područje (Tablica 18.). Uočljivo je da unutar istraživanih područja postoje razlike u promjeni temperature i oborina između visoko urbaniziranog i industrijaliziranog područja grada Zagreba i okolnog prostora Zagrebačke županije.

Prosječni godišnji porast temperature u gradu Zagrebu iznosi 0,05°C dok je vrijednost za Zagrebačku županiju nešto niža i iznosi 0,025°C. Prosječni godišnji porast temperature na cijelom istraživanom području iznosi 0,04°C. Ovakve razlike su razumljive s obzirom na razlike u broju stanovnika, urbaniziranost, industriju, promet i gospodarske aktivnosti tj. grad Zagreb predstavlja „toplinski otok“ u odnosu na okolno slabije naseljeno i dobrim dijelom ruralno područje.



Sl. 33. Linearni trendovi kretanja temperature na 13 klimatoloških postaja od 1988. do 2017. godine.



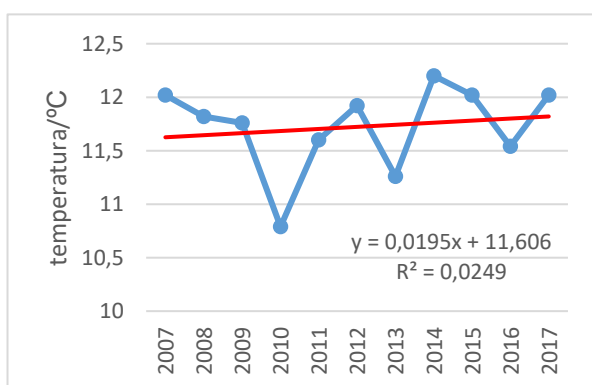
Sl. 34. Linearni trendovi kretanja oborina na 13 klimatoloških postaja od 1988. do 2017. godine.

### 4.3. Usporedba klimatskih promjena 30 – godišnjeg s 11 – godišnjim razdobljem

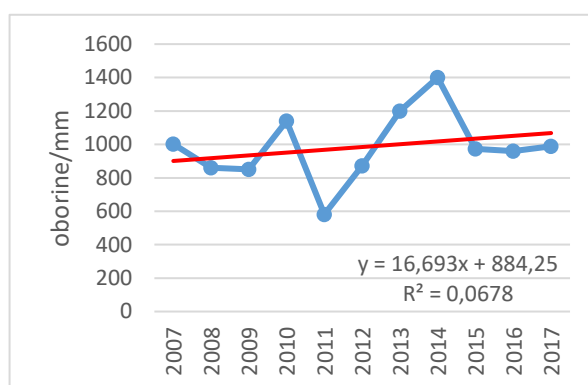
#### 4.3.1. Temperatura

Usporedba prosječnog godišnjeg porasta temperature 30-godišnjeg razdoblja (1988.-2017.) (Sl. 27, 29. i 31.) s 11-godišnjim (2007. - 2017., Sl. 35., 37, i 39.) (Tabl. 9.) pokazuje usporavanje porasta temperature u novijem 11-godišnjem razdoblju s time da je taj trend izraženiji u gradu Zagrebu. U gradu Zagrebu porast je 2,6 puta manji, u Zagrebačkoj županiji 2,5 puta, a na cijelom području 2,6 puta.

- grad Zagreb

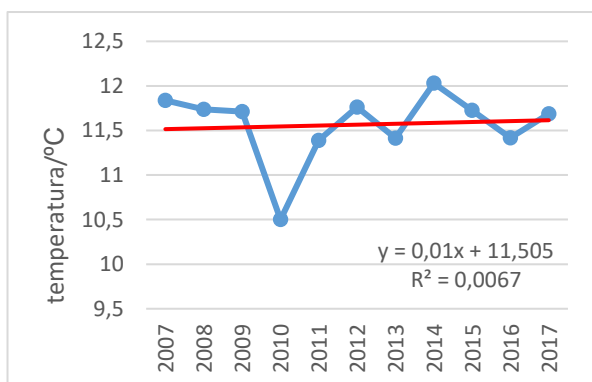


Sl. 35. Kretanje vrijednosti godišnje temperature u gradu Zagrebu 2007. – 2017.

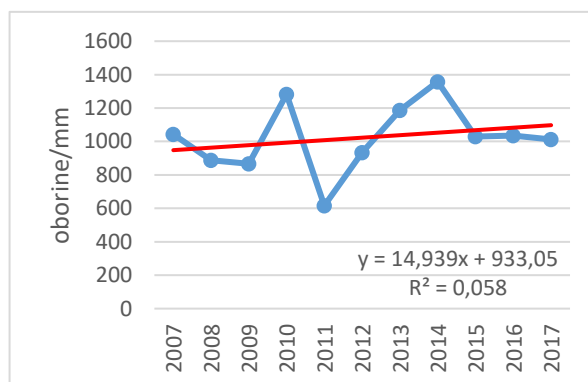


Sl. 36. Kretanje vrijednosti godišnje količine oborina u gradu Zagrebu 2007. – 2017.

- Zagrebačka županija

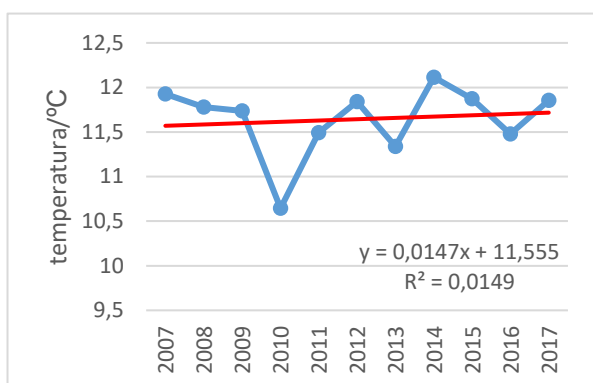


Sl. 37. Kretanje vrijednosti godišnje temperature u Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.

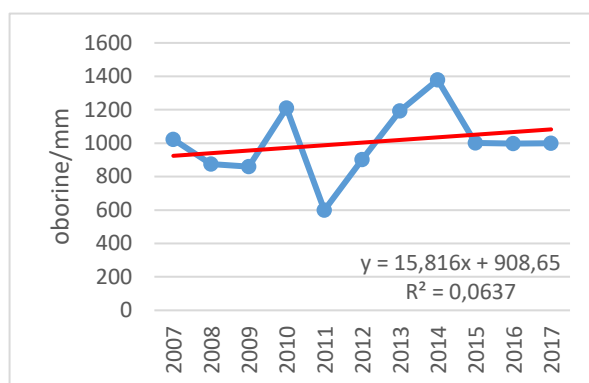


Sl. 38. Kretanje vrijednosti godišnje količine oborina u Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.

- grad Zagreb i Zagrebačka županija



Sl. 39. Kretanje vrijednosti godišnje temperature u gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.



Sl. 40. Kretanje vrijednosti godišnje količine oborina u gradu Zagrebu i Zagrebačkoj županiji 2007. – 2017.

#### 4.3.2. Oborine

Usporedba prosječne godišnje promjene količine oborina u 11 - godišnjem razdoblju (Sl. 36., 38. i 40.) s 30-godišnjim (Sl. 28., 30 i 32.) (Tablica 9.) pokazuje povećanje rasta količine oborina u 11-godišnjem razdoblju i to u značajnom iznosu: u gradu Zagrebu prosječna količina oborina porasla je 7,3 puta, a u Zagrebačkoj županiji 2,3 puta, a na cijelom području 3,6 puta. Razlog ovakvim razlikama je utjecaj grada na oborine zbog veće količine jezgara kondenzacije, povećane mehaničke turbulencije i pojačanja termičke konvekcije uslijed jačeg zagrijavanja grada od njegove okolice.

Tablica 9. Vrijednosti porasta godišnje temperature i količine oborina u razdoblju od 11 i 30 godina.

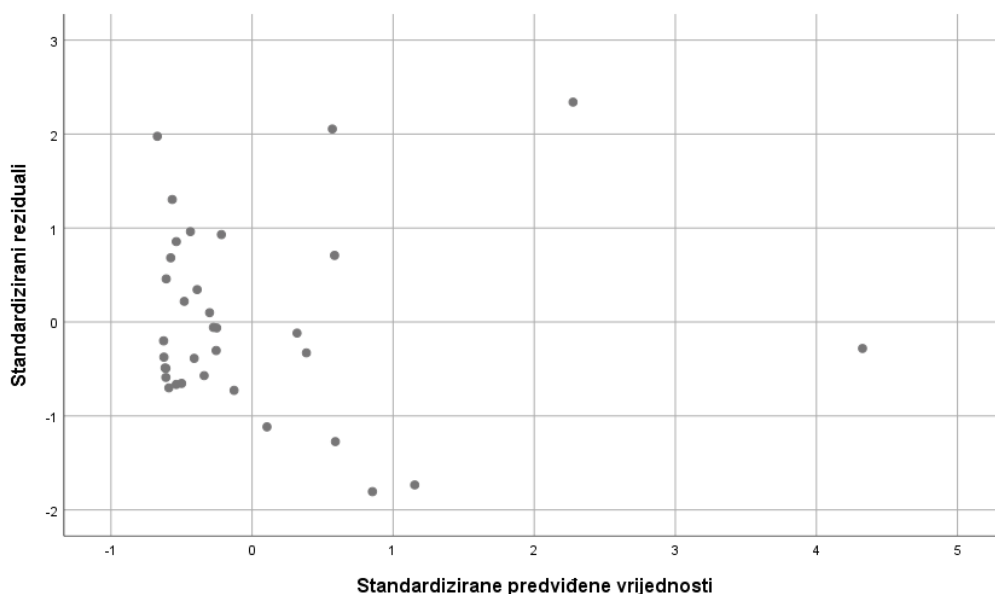
Područje	11 – godišnje razdoblje 2007. – 2017.				30 – godišnje razdoblje 1988. – 2017.			
	Temperatura/ °C	Oborine/mm	koeficijent varijacije		Temperatura/ °C	Oborine/mm	koeficijent varijacije	
			T	O			T	O
Zagreb	0,0195	16,69	0,03	0,21	0,0507	2,29	0,07	0,17
Zagrebačka županija	0,01	14,94	0,03	0,20	0,0245	6,61	0,05	0,16
Zagreb + Zagrebačka županija	0,0147	15,82	0,03	0,21	0,0376	4,45	0,05	0,16



#### 4.4. Analiza odnosa šumskog pokrova i ugljičnog dioksida

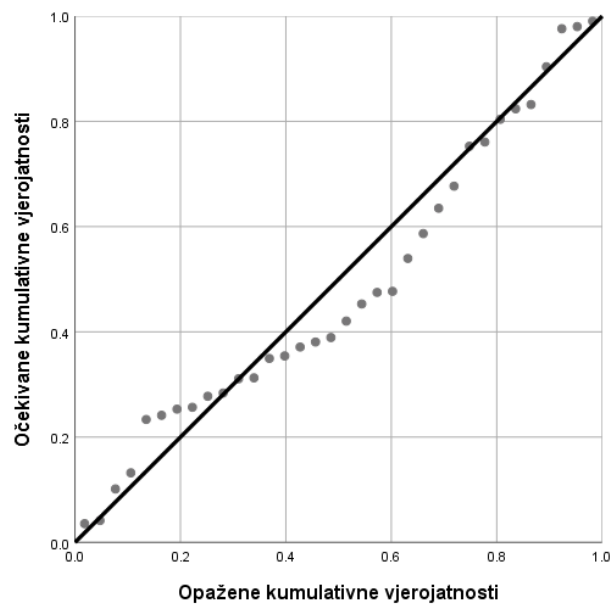
S obzirom na to da je ekstremni rezultat grada Zagreba narušavao jednakost varijance i snažno utjecao na regresijske koeficijente i distribuciju reziduala, nije uključen u obradu. Rezultati grada Zagreba su vjerojatno pod utjecajem znatno drugačijih ili dodatnih faktora te ne predstavljaju rezultate usporedive s ostalima.

Osim grada Zagreba, vidljiva su još dva odstupajuća reziduala sa  $z$  - vrijednostima većim od 1,96 (Jastrebarsko i Samobor) (Slika 41.), što je očekivan broj odstupajućih rezultata na uzorku od 35 slučajeva te su zadržani u analizi. Najveća Cookova distanca iznosila je 0,76 za Samobor, odnosno niža je od granične vrijednosti 1 što znači da rezultati niti jedne općine nemaju prevelik utjecaj na koeficijente regresije.

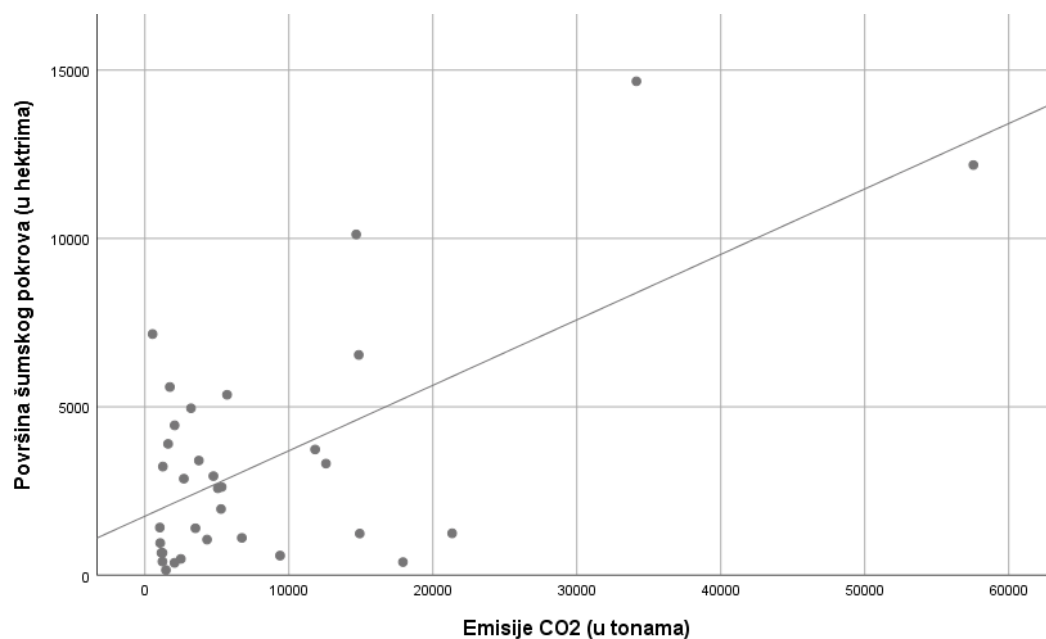


*Sl. 41. Predviđene vrijednosti i reziduali površina šumskog pokrova.*

Iz dijagrama raspršenja standardiziranih reziduala (Slika 41.) može se vidjeti da su prediktori povezani s kriterijem na linearan način zato što nema sustavne zakrivljenosti u raspršenju reziduala. Na P-P dijagramu (Slika 42.) predviđanja modela vidljivo je da podaci sadrže otprilike normalno distribuirane rezidualne.



Sl. 42. P-P dijagram odstupanja standardiziranih reziduala od predviđanja modela.



Sl. 43. Dijagram raspršenja vrijednosti emisija CO<sub>2</sub> i površine šumskog pokrova s pripadajućom linearnom regresijskom linijom.

Tablica 10. Regresijski koeficijenti u regresijskom modelu predviđanja površine šumskog pokrova.

	B	SE	$\beta$	t	p
Konstanta	1751,125	569,626	-	3,074	0,004
Emisije CO <sub>2</sub>	0,194	0,041	0,643	4,745	<0,001
F (1,32) = 22,520, p < 0,001; R <sup>2</sup> <sub>Prilagođeni</sub> = 0,395					

B - nestandardizirani b koeficijenti, SE – standardna pogreška nestandardiziranih koeficijenata,  $\beta$  – standardizirani beta koeficijenti, t – iznos t-testa za utvrđivanje značajnosti doprinosa koeficijenta predikciji, p – statistička značajnost koeficijenta, F – F-omjer sa stupnjevima slobode u zagradi, R<sup>2</sup><sub>Prilagođeni</sub> – prilagođeni koeficijent determinacije.

Iz Tablice 10 vidi se da je regresijska jednadžba statistički značajna (F (1,32) =22,520; p < 0,001) i objašnjava 39,5% variranja (Prilagođeni R<sup>2</sup> = 0,395). Predviđeni udio šumskog pokrova za svaku pojedinu općinu ili grad jednak je  $1751,125 - 0,194 \cdot (\text{CO}_2)$ .

Emisije CO<sub>2</sub> pozitivno i snažno predviđaju površinu šumskog pokrova ( $\beta = 0,643$ ), odnosno rastom emisija CO<sub>2</sub> povećava se i površina šumskog pokrova.

## 5. Rasprava

Prema svjetskoj meteorološkoj organizaciji (WMO, 2013), znakovit porast globalne temperature zraka pojavio se tijekom razdoblja od 1981. do 2010. godine. Srednja globalna temperatura za 2017. godinu bila je  $0,46^{\circ}\text{C}$  iznad višegodišnjeg prosjeka 1981. – 2010. ( $14,3^{\circ}\text{C}$ ) (WMO, 2018). Godine 2015., 2016. i 2017. bile su najtoplije godine od kada postoje sustavna meteorološka motrenja srednje globalne temperature. Porast globalne temperature u prosjeku iznosi  $0,17^{\circ}\text{C}$  po dekadi za vrijeme razdoblja 1981. – 2010. (Cindrić Kalin i sur. 2018). Globalno zatopljenje posljedica je porasta emisije stakleničkih plinova te je koncentracija ugljičnog dioksida u porastu za 29% od 1958. do 2017. godine na mjernoj postaji Mauna Loa (Havaji) (Cindrić Kalin i sur. 2018). Prema Australian Academy of Science (2017) pomoću matematičkih modela moguće je pretpostaviti posljedice efekta stakleničkih plinova, no potrebno je uključiti razne parametre poput temperature, relativne vlažnosti, brzine vjetra i atmosferskog tlaka kako bi se moglo utvrditi ponašanje atmosfere.

Male poraste temperature kroz kratka razdoblja teško je mjeriti jer na njih mogu utjecati i prirodne varijacije. Ciklusi hlađenja i zagrijavanja u oceanima uzrokuju promjene temperature, ali ih je teško odvojiti od malih promjena u temperaturi uzrokovanih emisijama ugljičnog dioksida koje se odvijaju u isto vrijeme. Znanstvenici mjere promjene kroz duga vremenska razdoblja kako bi se efekti kratkih prirodnih varijacija mogli razlikovati od efekata uzrokovanih antropogenim utjecajem. Stoga, u ovom radu je, osim kraćeg, promatrano i duže razdoblje od 30 godina kako bi se moglo govoriti o klimatskim promjenama.

Stopa rasta temperature zraka u svijetu usporila se između 1998. i 2010. godine, u odnosu na duže razdoblje od 1951. do 2012. godine (NOAA, 2018), što potvrđuju i rezultati u ovom radu, tj. linearni trend porasta temperature od 2007. do 2017. godine, koji pokazuje smanjenu stopu rasta temperature u odnosu na razdoblje od 1988. do 2017. godine.

Analizom kretanja prosječnih godišnjih temperatura i oborina, utvrđeno je da je u 30-godišnjem razdoblju varijabilnost oborina povećana te da je koeficijent varijacije veći od temperature, što je potvrđeno i u drugim istraživanjima (Pendergrass i sur. 2017). Nadalje, rezultati u ovom radu pokazali su da se povećana varijabilnost oborina u 11 – godišnjem razdoblju u odnosu na 30-godišnje javlja paralelno sa smanjenjem porasta

temperature, što upućuje na zaključak da, osim temperature, na povećanu varijabilnost oborina utječu i neki drugi faktori koji nisu promatrani u ovom radu.

Stips i sur. (2016) su zaključili da postoji uzročno posljedična veza između emisije stakleničkih plinova i anomalija u temperaturi zraka, odnosno da je posebice CO<sub>2</sub> uzročnik porasta temperature, a značajno od 1960. - ih. Matthews (2000) je utvrdio da se po emisiji tone ugljičnog dioksida temperatura povećava za 0.0000000000015°C te je potrebno ograničiti emisiju CO<sub>2</sub> kako bi se usporile klimatske promjene. Međutim, posljedice sadašnjih emisija CO<sub>2</sub> neće biti vidljive narednih 50 godina (Ricke i sur. 2014) te se može govoriti o odgodi efekta. Prema Humlumu i sur. (2013), postoji maksimalna pozitivna korelacija između CO<sub>2</sub> i temperature na svjetskoj razini, s tim da promjene u koncentraciji CO<sub>2</sub> slijede nakon promjena u temperaturi i to s odgodom 9.5 - 10 mjeseci za temperature zraka iznad kopnenih površina, 11 – 12 mjeseci iznad oceana te oko 9 mjeseci u slojevima donje troposfere. U ovom radu utvrđeno je da je porast temperature u odnosu na indirektni pokazatelj emisije CO<sub>2</sub> (prosječni prijedeni put\*vrijeme) izražen s odgodom efekta od 3 godine, s tim da se porast temperature javlja nakon porasta emisije CO<sub>2</sub>. Mogući razlog je mala površina istraživanog područja koja je velikim dijelom urbanizirana te industrijski razvijena i s velikim brojem osobnih vozila. Porast količine oborina javlja se s odgodom od jedne godine, dakle utjecaj CO<sub>2</sub> je brže izražen nego kod temperature.

Količina emisije ugljičnog dioksida u cestovnom prometu u Hrvatskoj u periodu od 2011. do 2016. godine je u blagom porastu te je u 2016. godini imala udio od 37,4% u ukupnoj emisiji. Porast je posljedica izlaska iz ekonomske krize te razvoja gospodarskih aktivnosti. Pretpostavlja se da emisija vozila izravno utječe na klimatske značajke (Vuk i sur. 2017). Također, trebalo bi uvesti kao parameter i nepokretne izvore energije koji su u 2016. godini u Hrvatskoj emitirali 61,2% ukupne emisije.

Što se promjena klime tiče, usporedna analiza 30-godišnjeg i 11-godišnjeg vremenskog razdoblja pokazala je pozitivne trendove usporavanja porasta prosječne godišnje temperature što je dijelom vjerojatno posljedica implementacije mjera i inicijativa na državnoj i lokalnoj razini poduzetih s ciljem smanjenja globalnog zatopljenja (prelazak na nove tehnologije, čišće energente itd.), a drugim dijelom posljedica prirodnih faktora poput odnosa između oscilacija El Niña i La Niña (prevlast hladnih oceanskih struja) (Cheng i sur. 2017, Deser i sur. 2017), vulkanskih erupcija

čije čestice reflektiraju kratkovalnu Sunčevu radijaciju (Vernier 2011) te slabijeg solarnog zračenja od 1998. do 2012. godine (NOAA 2018).

Što se oborina tiče, prisutan je pozitivan trend povećanja njihove prosječne količine, osobito u novijem 11-godišnjem razdoblju. Međutim, u isto vrijeme došlo je i do povećanja njihove varijabilnosti, tj. češće pojave izrazito sušnih ili vlažnih godina, što predstavlja pojavu koja negativno utječe na prirodni i antropogeni okoliš. Ovakav rezultat je u skladu s istraživanjem Pendergrassa i sur. (2017), u kojem je utvrđeno da dnevna i međugodišnja varijabilnost oborina raste proporcionalno dvostrukom porastu koncentracije CO<sub>2</sub> (tj. porastu temperature) u posljednjih 20 godina.

Šume na istraživanom području modificiraju utjecaj ugljičnog dioksida na klimu, apsorbirajući atmosferski ugljik i koristeći ga za fotosintezu (EPA 1993). Veteli i sur. (2002) su pokusom utvrdili da se pri povišenim koncentracijama CO<sub>2</sub> povećava i biomasa biljaka, što je potvrđeno i analizom u ovom radu. No, kada su koncentracije CO<sub>2</sub> povišene, puči listova se zatvaraju te se oslobađa manja količina vode i mogućnost hlađenja je smanjena. U prosjeku, na cijeloj Zemlji, efekti smanjene evapotranspiracije biljaka utječu na 16% zagrijavanja površine kopna (Carnegie Institution 2010). Kako sve općine i gradovi istraživanog područja nemaju jednak udio šumskog pokrova, imaju različite gospodarske djelatnosti i manje ili veće industrijske pogone, imaju različit broj vozila te različite ukupne prijeđene puteve, ne možemo govoriti o ravnomjernom ublažavanju efekta emisije CO<sub>2</sub> na klimatske značajke. Određene općine i gradovi su u prednosti u sekvestraciji emisija CO<sub>2</sub> nad drugima s obzirom na udio šuma u ukupnoj površini i malom broju osobnih vozila (npr. općina Žumberak). Znakovito je da u razdoblju od 30 godina (1988. - 2017.), sve klimatološke postaje imaju linearan trend porasta temperature i oborina, osim klimatološke postaje Sošice koja pokazuje linearan trend pada temperature. Razlog tome je što se nalazi u gore spomenutoj općini Žumberak s visokim udjelom šumskog pokrova, malim brojem osobnih vozila te niskim prijeđenim putem.

Prelazak na novije ekološki čiste tehnologije je i dalje veoma skup, ali neophodan. Bez razvoja veće iskoristivosti energije ili tehnologija s nula ugljika, dugoročna stabilizacija CO<sub>2</sub> u atmosferi tehnički je nemoguća (Schafer i sur. 1999).

## 6. Zaključak

Istraživanje provedeno analizom odnosa parametara osobnih vozila (prosječan prijeđeni put\*vrijeme) i klimatskih značajki tijekom 11 – godišnjeg razdoblja (2007. – 2017.) objasnilo je 8,17% varijance odnosa između temperature i parametara vozila, te 9,3% varijance odnosa između oborina i parametara vozila. Analiza odnosa emisija ugljičnog dioksida is osobnih vozila i šumskog pokrova objasnila je 39,5% varijance.

1) Longitudinalnom analizom utvrđeno je da dolazi do značajnog porasta temperature za 0,12°C te značajnog porasta količine oborina za 21,84 mm kroz 11-godišnje razdoblje.

2) Povezanost parametara osobnih vozila i klime je statistički značajna te prosječan prijeđeni put osobnog vozila po km<sup>2</sup> predviđa promjene, ali s vremenskom odgodom od 3 godine za temperaturu i 1 godine za oborine.

3) U općinama i gradovima s većim vrijednostima prijeđenog puta s godinama temperatura i količina oborina više rastu nego u općinama i gradovima s nižim vrijednostima prijeđenog puta.

4) U 30 – godišnjem periodu (1988. – 2017.) utvrđen je linearni trend porasta temperature za cijelo istraživano područje, osim općine Žumberak koja ima negativan linearni trend, odnosno pad temperature. S obzirom na oborine, u svim općinama i gradovima je izražen porast količine. U 30-godišnjem razdoblju dolazi do porasta temperature za 0,04°C te porasta količine oborina za 4,45 mm. Usporedba prosječnog godišnjeg porasta temperature 30 - godišnjeg razdoblja s 11 - godišnjim (2007. - 2017.) pokazuje usporavanje porasta temperature u novijem 11 - godišnjem razdoblju s time da je taj trend izraženiji u gradu Zagrebu. Usporedba prosječne godišnje promjene količine oborina pokazuje povećanje rasta količine oborina u 11 - godišnjem razdoblju i to u značajnom iznosu, osobito u gradu Zagrebu.

5) Analiza odnosa emisije CO<sub>2</sub> i šumskih površina na istraživanom području pokazuje da porastom emisije CO<sub>2</sub> raste i površina šumskog pokrova, što predstavlja pozitivnu okolnost obzirom da šumske površine pomažu smanjenju emisije količina ugljičnog dioksida u atmosferi akumulirajući povišene koncentracije te ublažavajući efekt staklenika.

## 7. Literatura

Bertić I. 1994. Zagreb – monografije. Geografski horizont 2, 1-17.

Carnegie Institution. 2010. Carbon dioxide's effects on plants increase global warming, study finds. ScienceDaily.

Cheng, L., K. Trenberth, J. Fasullo, T. Boyer, J. Abraham, Zhu, J. 2017. Improved estimates of ocean heat content from 1960-2015. Science Advances 3, 3, e1601545, Doi:10.1126/sciadv.1601545.

Cindrić Kalin K., Güttler I., Pandžić K., Srnc L., Vučetić V., Zaninović K. 2018. Sedmo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC).

Deser, C., R. Guo, Lehner, F. 2017. The relative contributions of tropical Pacific sea surface temperatures and atmospheric internal variability to the recent global warming hiatus. Geophysical Research Letters 44, 7945–7954, doi:10.1002/2017GL074273.

Devaraju N., Bala G., Caldeira K., Nemani R. 2016. A model based investigation of the relative importance of CO<sub>2</sub>-fertilization, climate warming, nitrogen deposition and land use change on the global terrestrial carbon uptake in the historical period. Climate Dynamics 47, 1–2, 173–190.

Džanić H., Džanić F. 1990. Utjecaj ugljik (IV) – oksida ispušnih plinova cestovnih vozila na promjene životne sredine. Promet, 2. 1-2, 89-97.

EPA. 1993. Research Plan: Effects of elevated CO<sub>2</sub> and climate change on forest trees. Environmental Research Laboratory – Corvallis.

Eugen T., Madalina I., Vlad C., Ovidiu B. 2003. Correlations between the air pollution and the rainfall composition in Jiului Valley area. Geologia 48, 95-100.

Golubić J. 1999. Promet i okoliš. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, Zagreb.

Grani G., Pešut D., Željko M., Bošnjak R., Kulišić B., Tot M. i sur. 2011. What processes can be expected in the Croatian energy sector by 2050. Nafta Scientific Journal 62 (3-4), 87-95.



- Humlum, O., K. Stordahl, and J.-E. Solheim (2013). The phase relation between atmospheric carbon dioxide and global temperature. *Global and Planetary Change*, 100:51-69.
- Juras J. 1985. Neke karakteristike promjene klime Zagreba u posljednjem tridesetljeću. *Geofizika*, 2, 1, 93-102.
- Matthews E., Rohweder M., Payne R., Murray S. 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems*. World Resources Institute, Washington, USA.
- Miklić I., Milanović B. 2011. *Sustavi za redukciju emisije ispušnih plinova motornih vozila*. Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- Orlić O. 2016. *Odrast: pojmovnik za novu eru*. Giacomo D'Alisa, Federico Demaria i Giorgos Kallis, ur., *Fraktura i Institut za političku ekologiju*, Zagreb.
- Pejić G., Bunjevac M., Pečet M., Lulić Z. 2018. *Impact of Introduction of Low Emission Zone in the City of Zagreb*.
- Pendergrass G. A., Knutti R., Lehner F., Deser C., Sanderson M. B. 2017. Precipitation variability increases in a warmer climate. *Scientific reports* 7, 17966.
- Pevalek- Kozlina B. 2003. *Fiziologija bilja*, Profil International, Zagreb.
- Poorfakhraei A., Tayarani M., Rowangould G. 2017. Evaluating health outcomes from vehicle emissions exposure in the long range regional transportation planning process. *Journal of Transport & Health* 6, 501-505.
- Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (Narodne novine b. 67/.08) 2009.
- Rešetar M., Pejić G., Lulić Z. 2018. *Emisije osobnih automobila iz cestovnog transporta u Republici Hrvatskoj*.
- Ricke L. K., Caldeira K. 2014. Maximum warming occurs about one decade after a carbon dioxide emission. *Environmental Research Letters* 9, 124002.
- Schafer, A., Victor, D.G. 1999. Global passenger travel: implications for carbon dioxide emissions. *Energy* 24, 657–679.
- Steele F. 2007. *Multilevel models for longitudinal data*. University of Bristol, UK.

Stips, A., Macias, D., Coughlan, C., Garcia-Gorriz, E., San Liang, X. 2016. On the causal structure between CO<sub>2</sub> and global temperature. Scientific Reports 6, 21691.

Šegota T., Filipčić A. 1996. Klimatologija za geografe. Školska knjiga, Zagreb.

Tumara D. 2015. Metodologija izračuna emisije ugljikovog dioksida. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Diplomski rad, Zagreb.

Vernier, J.-P., Thomason, L. W., Pommereau, J.-P., Bourassa, A., Pelon, J., Garnier, A., Vargas, F. 2011. Major influence of tropical volcanic eruptions on the stratospheric aerosol layer during the last decade. Geophysical Research Letters, 38 (12), L12807.

Veteli T. O., Kuokkanen K., Julkunen-Tiito R., Roininen H., Tahvanainen J. 2002. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on plant growth and herbivore defensive chemistry. Global Change Biology 8, 1240-1252.

Vuk B., Karan M., Fabek R., Živković S., Maričević M., Baričević T., Antešević S., Maras J., Karadža N., Borković T., Krstulović V., Židov B., Jurić Ž. 2017. Energija u Hrvatskoj 2016. - Godišnji energetske pregled. Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb.

WMO, 2018: Provisional statement on the status of the global climate in 2017.

WMO, 2013: The global climate 2001-2010 –A decade of climate extremes, summary report.

Australian Academy of Science:

<https://www.science.org.au/curious/earth-environment/enhanced-greenhouse-effect>

Centar za vozila Hrvatske:

[https://www.cvh.hr/media/2392/s01\\_pregled\\_starosti\\_vozila\\_premavv\\_rtp\\_2016.pdf](https://www.cvh.hr/media/2392/s01_pregled_starosti_vozila_premavv_rtp_2016.pdf)

[https://www.cvh.hr/media/2750/s01\\_pregled\\_starosti\\_vozila\\_premavv\\_rtp\\_2017.pdf](https://www.cvh.hr/media/2750/s01_pregled_starosti_vozila_premavv_rtp_2017.pdf)

Web portal Zagrebačke županije:

<https://www.zagrebacka-zupanija.hr/zupanija/?opcine#karta>, 2019.

Prostorni plan Zagrebačke županije (PPZZ):

<http://www.zpuzz.hr/dld/prilozi/0-PPZZ - Knjiga I - Tekstualni dio.pdf>

Službeni glasnik grada Zagreba:

Odluka o granicama područja i sjedištima gradskih četvrti, NN, br. 7. 26. veljače 2009.

<http://www1.zagreb.hr/slglasnik/index.html#/akt?godina=2009&broj=070&akt=6B0E134EFE44A9E6C1257574002EDF0C>

Hrvatske šume <https://www.hrsume.hr/index.php/hr/ume/opcenito/sumeuhrv>

NOAA:

<https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/why-did-earth%E2%80%99s-surface-temperature-stop-rising-past-decade>

<https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/did-global-warming-stop-1998>

Stack Echange:

<https://stats.stackexchange.com/questions/2492/is-normality-testing-essentially-useless>

Statistics Solutions:

<https://www.statisticssolutions.com/normality/>

## 8. Prilozi

*Prilog 1. Osnovne značajke analiziranih postaja.*

R. br.	Postaja	Geografska dužina N	Geografska širina E	Nadmorska visina m n.m.	Raspoloživi podaci	
					Temperatura	Oborine
1	Čazma <sup>4</sup>	45° 45'	16° 38'	144	1988. – 2017.	1988. – 2017.
2	Oborovo	45° 40' 45"	16° 15' 22"	101	1988. – 2017.	1988. – 2017.
3	Pisarovina	45° 34' 25"	15° 33' 33"	138	1988. – 2017.	1988. – 2017.
4	Puntijarka	45° 54' 27"	15° 58' 6"	991	1988. – 2017.	1988. – 2017.
5	Samobor	45° 49' 09"	15° 43' 12"	141	1988. – 2017.	1988. – 2017.
6	Sošice	45° 45' 0"	15° 22' 56"	520	1999. – 2017.	2000. – 2017.
7	Sveti Ivan Zelina	45° 48' 35"	16° 14' 30"	155	1993. – 2017.	1993. – 2017.
8	Šibice	45° 51' 18"	15° 47' 0"	133	1996. – 2017.	1996. – 2017.
9	Zagreb aerodrom	45° 43' 45"	16° 3' 14"	106	1988. – 2017.	1988. – 2017.
10	Zagreb Botinec	45° 45'	15° 57'	116	1988. – 2014.	1988. – 2014.
11	Zagreb Grič	45° 48' 52"	15° 58' 19"	157	1988. – 2017.	1988. – 2017.
12	Zagreb Maksimir	45° 49' 19"	16° 2' 1"	123	1988. – 2017.	1988. – 2017.
13	Zagreb Rim	45° 50' 33"	15° 59' 30"	220	1988. – 2016.	1988. – 2017.

<sup>4</sup> Unatoč lokaciji izvan istraživanog područja, klimatološka postaja Čazma uvrštena je radi preciznijeg očitavanja vrijednosti za općine i gradove.

*Prilog 2. Vrijednosti prosječne godišnje temperature od 1988. do 2017. godine.*

R. br.	Postaja	Prosječna godišnja temperatura/°C														
		1988.	1989.	1990.	1991.	1992.	1993.	1994.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.
1	Čazma	11.40	11.30	11.80	10.60	10.75	10.90	12.50	11.35	10.20	10.65	11.10	11.20	11.30	11.40	12.10
2	Oborovo	10.50	10.50	10.80	9.50	9.75	10.00	11.70	11.20	9.80	10.30	10.70	11.10	12.00	11.10	12.10
3	Pisarovina	11.00	11.20	11.70	11.90	12.10	11.00	12.10	11.10	9.80	10.50	10.90	11.00	12.20	11.00	11.10
4	Puntijarka	6.50	7.10	7.30	7.45	7.60	6.80	7.90	6.60	5.50	6.70	7.00	7.00	8.40	7.00	7.90
5	Samobor	11.00	11.20	11.50	10.40	11.80	11.10	12.40	11.25	10.10	11.00	11.40	11.40	11.50	11.60	12.10
6	Sošice	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.60	9.60	9.50	9.40
7	Sveti Ivan Zelina	-	-	-	-	-	10.90	12.30	11.10	9.80	10.60	10.90	11.56	12.20	12.10	12.00
8	Šibice	-	-	-	-	-	-	-	-	9.40	10.10	10.50	10.70	12.00	11.00	11.60
9	Zagreb aerodrom	10.70	10.80	11.20	11.40	11.60	10.70	12.10	11.10	10.00	10.80	10.90	11.20	12.40	11.50	12.10
10	Zagreb Botinec	11.40	11.10	11.50	10.40	11.90	11.00	12.10	11.10	10.10	11.00	11.10	11.50	12.90	12.00	12.05
11	Zagreb Grič	11.90	12.00	12.50	11.40	13.00	12.10	13.30	12.10	11.00	12.00	12.40	12.50	13.80	12.60	13.20
12	Zagreb Maksimir	10.80	10.80	11.20	10.20	11.90	11.00	12.20	11.20	10.10	11.00	11.20	11.60	12.70	11.70	12.30
13	Zagreb Rim	11.40	11.70	12.00	10.90	12.30	11.40	12.70	11.60	10.40	11.30	11.80	12.00	13.20	12.20	12.80

R. br.	Postaja	Prosječna godišnja temperatura/°C														
		2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
1	Čazma	11.40	10.90	10.40	11.50	12.20	12.20	12.30	11.10	11.70	12.30	11.60	12.60	12.30	11.90	12.20
2	Oborovo	11.90	11.20	10.60	11.80	12.50	12.30	12.30	11.10	11.70	12.20	11.60	12.50	12.00	11.80	12.10
3	Pisarovina	11.15	11.20	11.25	11.30	12.20	12.00	11.90	10.80	11.50	12.00	12.25	12.50	12.10	11.95	11.80
4	Puntijarka	7.60	6.60	6.10	7.30	8.00	7.80	7.60	6.30	7.90	7.80	7.30	8.20	8.50	8.00	8.00
5	Samobor	11.70	11.20	10.80	11.80	12.60	12.20	12.30	11.00	12.20	12.40	12.17	11.94	11.70	11.50	11.80
6	Sošice	9.30	9.20	9.10	9.00	9.60	9.70	9.20	8.00	9.00	9.20	9.10	9.00	8.90	8.80	9.20
7	Sveti Ivan Zelina	11.40	10.80	11.10	11.40	11.70	12.00	12.20	10.90	12.00	12.50	11.70	12.70	12.60	12.10	12.50
8	Šibice	10.90	10.50	9.80	11.00	11.60	11.50	11.50	10.20	11.30	11.40	11.20	12.30	11.80	11.40	11.70
9	Zagreb aerodrom	11.50	11.00	10.40	11.50	12.30	12.00	12.00	10.90	11.70	12.10	11.70	12.70	12.40	11.90	12.20
10	Zagreb Botinec	12.10	11.50	11.00	12.10	13.10	12.80	12.60	11.60	12.50	12.70	12.20	13.20	-	-	-
11	Zagreb Grič	12.90	12.00	11.60	12.70	13.60	13.40	13.40	12.20	13.20	13.70	12.90	13.80	13.70	13.10	13.60
12	Zagreb Maksimir	11.80	11.20	10.70	11.80	12.60	12.30	12.40	11.30	12.10	12.50	11.90	12.90	12.60	12.20	12.60
13	Zagreb Rim	12.40	11.40	11.00	12.10	12.80	12.80	12.80	12.55	12.30	12.90	12.00	12.90	12.90	12.50	-

*Prilog 3. Vrijednosti ukupne godišnje količine oborina od 1988. do 2017. godine.*

R. br.	Postaja	Ukupna godišnja količina oborina/mm														
		1988.	1989.	1990.	1991.	1992.	1993.	1994.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.
1	Čazma	719.60	805.50	658.50	816.20	888.95	961.70	829.40	877.35	925.30	1054.60	1183.90	1004.70	612.50	903.10	916.00
2	Oborovo	719.80	837.50	758.70	800.90	846.15	891.40	862.70	1083.50	1003.20	847.60	864.05	880.50	675.70	1125.00	1155.30
3	Pisarovina	734.90	858.30	730.70	748.60	742.80	944.30	947.30	1176.50	1111.50	801.10	1040.90	1171.10	832.50	1255.60	1151.20
4	Puntijarka	1194.20	1371.10	1037.40	1172.30	1151.30	1287.90	1289.90	1612.10	1335.30	1070.40	1347.70	1353.80	995.60	1335.50	1257.70
5	Samobor	987.20	1163.80	928.10	971.70	998.10	1043.90	1080.80	1119.95	1159.10	898.40	1089.70	1186.90	1097.05	1007.20	1149.40
6	Sošice	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	981.10	1012.58	1044.06
7	Sveti Ivan Zelina	-	-	-	-	-	996.70	958.80	985.30	963.10	790.90	1069.00	1086.50	594.60	721.50	848.40
8	Šibice	-	-	-	-	-	-	-	-	1013.00	809.30	1084.60	1022.00	795.60	956.40	1024.80
9	Zagreb aerodrom	847.50	989.10	745.20	789.95	834.70	1039.30	938.00	1072.00	1062.50	877.90	976.80	1083.70	785.00	1021.20	1049.30
10	Zagreb Botinec	859.10	931.50	740.50	882.50	872.30	964.00	997.50	984.10	1088.10	828.50	1083.50	1118.50	925.10	949.50	1067.10
11	Zagreb Grič	750.30	919.50	696.10	789.30	807.50	928.10	962.00	962.10	959.00	723.40	1000.60	997.40	724.60	842.30	1064.60
12	Zagreb Maksimir	783.90	913.10	650.40	729.80	769.00	903.10	963.80	949.90	1013.20	726.60	1026.10	924.20	721.20	822.30	979.80
13	Zagreb Rim	851.60	1025.50	695.50	864.60	856.20	975.60	1039.40	1050.30	980.20	764.50	1096.80	1002.40	789.40	927.10	1073.00

R. br.	Postaja	Ukupna godišnja količina oborina/mm														
		2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
1	Čazma	692.00	972.00	942.70	786.00	920.60	787.60	648.90	1188.90	438.60	741.50	1056.80	1265.00	903.60	897.80	798.00
2	Oborovo	648.70	1035.50	1128.70	783.00	946.00	774.70	918.20	1295.20	616.00	727.10	1051.80	1452.70	906.50	1001.20	868.50
3	Pisarovina	1101.28	1051.35	1001.43	951.50	1099.80	890.50	814.50	1188.90	606.50	948.60	1331.20	1634.10	1062.10	1034.70	936.60
4	Puntijarka	898.90	1280.90	1438.60	1191.40	1382.00	1149.40	1066.40	1638.30	763.50	1035.30	1441.30	1633.20	1321.30	1237.40	1296.80
5	Samobor	728.40	1044.60	1268.00	1047.20	1107.30	987.60	964.30	1403.20	624.50	1209.90	1206.03	1202.16	1198.30	1122.90	1162.30
6	Sošice	1075.54	1107.02	1138.50	1170.00	1381.10	1181.00	1055.80	1517.30	899.10	1285.80	1317.87	1349.94	1382.00	1322.70	1386.00
7	Sveti Ivan Zelina	846.45	844.50	796.60	748.70	818.55	888.40	800.10	1290.70	554.30	722.40	1178.50	1183.50	794.70	927.90	972.80
8	Šibice	629.10	984.40	1033.80	899.00	1079.10	787.00	860.90	1222.10	627.80	981.80	1200.50	1315.70	1046.10	1005.00	1047.60
9	Zagreb aerodrom	681.60	971.80	1102.00	871.40	992.30	805.10	872.00	1147.50	560.30	853.10	1149.90	1459.50	935.10	973.90	922.00
10	Zagreb Botinec	618.50	1022.50	1059.50	811.20	957.50	806.80	804.50	1168.70	569.20	925.50	1231.70	1367.20	-	-	-
11	Zagreb Grič	624.40	992.90	988.10	753.90	895.90	768.50	794.90	1155.10	520.80	812.70	1092.40	1233.80	823.90	853.80	888.50
12	Zagreb Maksimir	594.10	918.20	906.00	746.20	857.50	744.20	768.80	1059.90	517.00	761.10	1052.70	1317.80	887.10	858.60	897.00
13	Zagreb Rim	626.80	1009.00	1023.30	802.60	912.90	835.70	821.20	679.35	537.50	824.80	1182.90	1446.00	900.40	872.80	939.80



*Prilog 4. Broj vozila u gradu Zagrebu i općinama i gradovima Zagrebačke županije.*

R. br.	Grad/općina	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
1	GRAD ZAGREB	287852	299372	297365	293870	292605	285832	283212	284472	287551	296850	307999
2	BEDENICA	396	406	417	422	414	442	427	448	460	498	498
3	BISTRA	1743	1872	1917	1940	1965	2009	2020	2084	2110	2169	2251
4	BRCKOVLJANI	1689	1769	1840	1837	1913	1912	1964	1988	2069	2152	2225
5	BRDOVEC	3224	3371	3366	3398	3428	3476	3506	3634	3673	3822	3916
6	DUBRAVA	1242	1293	1338	1356	1363	1387	1399	1397	1461	1525	1532
7	DUBRAVICA	441	447	453	479	454	458	462	457	450	468	463
8	DUGO SELO	4948	5110	5135	5212	5257	5376	5586	5752	5920	6072	6218
9	FARKAŠEVAC	397	428	442	448	452	481	479	471	474	507	509
10	GRADEC	917	969	990	1010	1006	995	1033	1014	1048	1101	1116
11	IVANIĆ-GRAD	4285	4423	4464	4512	4500	4562	4545	4664	4758	4812	4843
12	JAKOVLJE	1233	1322	1297	1300	1324	1340	1348	1394	1418	1427	1505
13	JASTREBARSKO	5191	5253	5304	5264	5340	5334	5440	5576	5778	5973	6109
14	KLINČA SELA	1531	1617	1628	1649	1632	1675	1721	1774	1813	1936	2034
15	KLOŠTAR IVANIĆ	1675	1776	1772	1820	1808	1872	1896	1957	1983	2060	2073
16	KRAŠIĆ	648	680	707	727	756	756	751	785	799	840	839
17	KRAVARSKO	472	491	523	540	555	553	577	603	616	655	657
18	KRIŽ	1988	2046	2111	2111	2131	2172	2164	2216	2238	2323	2321
19	LUKA	398	409	405	437	437	441	455	459	475	496	515
20	MARIJA GORICA	669	736	739	732	742	759	749	772	815	837	869
21	ORLE	480	516	542	525	539	557	579	556	566	595	616
22	PISAROVINA	1020	1097	1145	1149	1164	1145	1178	1208	1281	1303	1372
23	POKUPSKO	527	536	575	584	593	621	630	635	656	706	723
24	PRESEKA	397	445	443	460	458	455	441	396	404	422	427
25	PUŠĆA	825	880	902	906	929	915	953	973	951	1014	1054
26	RAKOVEC	330	354	377	363	384	384	391	393	419	433	444
27	RUGVICA	1982	2175	2303	2315	2391	2408	2490	2569	2668	2740	2801
28	SAMOBOR	11919	12422	12595	12597	12675	12783	13004	13263	13460	13892	14339
29	STUPNIK	1241	1346	1404	1425	1486	1571	1550	1607	1672	1756	1919
30	SVETA NEDELJA	5650	6104	6373	6389	6472	6640	6723	6956	7104	7294	7383
31	SVETI IVAN ZELINA	4938	5118	5274	5312	5424	5467	5483	5717	5893	6046	6170
32	VELIKA GORICA	20833	21215	21361	21214	21009	21087	21377	21717	22632	23417	24176
33	VRBOVEC	4300	4414	4490	4517	4564	4550	4673	4796	4904	5118	5137
34	ZAPREŠIĆ	7871	8103	8067	8043	8058	8073	8154	8325	8428	8684	8791
35	ŽUMBERAK	182	194	200	203	216	210	207	220	226	216	233

*Prilog 5. Prosječna starost osobnog vozila u gradu Zagrebu i općinama i gradovima Zagrebačke županije.*

R. br.	Grad/općina	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
1	GRAD ZAGREB	8.88	8.84	8.84	8.93	9.33	9.75	10.16	10.53	10.92	11.25	11.48
2	BEDENICA	11.87	11.76	11.91	12.20	11.99	12.39	13.00	13.03	13.56	13.64	13.90
3	BISTRA	11.15	11.23	11.47	11.67	11.95	12.35	12.89	13.26	13.67	14.00	14.01
4	BRCKOVLJANI	11.34	11.72	11.72	11.99	12.44	12.84	13.12	13.39	13.85	13.95	14.17
5	BRDOVEC	10.65	10.71	10.80	10.92	11.25	11.73	12.12	12.51	12.83	13.10	13.41
6	DUBRAVA	11.87	12.08	12.29	12.49	12.83	13.14	13.45	13.81	14.44	14.56	14.78
7	DUBRAVICA	11.02	10.98	11.00	11.57	11.85	12.14	12.44	13.04	13.44	13.78	14.28
8	DUGO SELO	10.41	10.47	10.64	10.90	11.18	11.54	11.92	12.24	12.66	12.92	13.07
9	FARKAŠEVAC	12.62	13.11	12.83	12.76	13.39	13.40	13.88	14.31	14.48	14.84	15.24
10	GRADEC	11.60	11.87	12.15	12.42	12.98	13.39	14.03	14.28	14.64	14.94	15.21
11	IVANIĆ-GRAD	10.85	10.91	10.95	11.17	11.46	11.87	12.19	12.41	12.77	13.08	13.35
12	JAKOVLJE	11.23	11.37	11.43	11.66	12.14	12.54	12.91	13.22	13.53	13.87	14.16
13	JASTREBARSKO	10.73	10.91	11.09	11.26	11.67	12.02	12.40	12.63	12.86	13.27	13.48
14	KLINČA SELA	10.08	10.10	10.31	10.62	10.92	11.34	11.81	12.30	12.55	12.84	13.11
15	KLOŠTAR IVANIĆ	11.65	11.81	11.87	12.12	12.35	12.69	13.16	13.63	14.00	14.23	14.65
16	KRAŠIĆ	11.49	11.77	12.06	12.33	12.80	13.16	13.48	13.77	14.13	14.36	14.59
17	KRAVARSKO	10.63	11.02	11.00	11.27	11.85	12.32	12.78	12.95	13.33	13.68	14.00
18	KRIŽ	11.78	11.83	12.03	12.24	12.49	12.96	13.29	13.54	13.82	14.30	14.52
19	LUKA	11.80	12.06	12.01	12.14	12.79	13.06	13.42	13.61	14.01	14.24	14.43
20	MARIJA GORICA	10.45	10.59	10.87	11.04	11.39	12.13	12.29	12.87	13.33	13.59	13.95
21	ORLE	11.67	11.28	11.55	11.94	12.38	12.87	12.96	13.41	13.91	14.49	14.53
22	PISAROVINA	10.74	11.02	11.04	11.24	11.56	12.19	12.47	12.94	13.36	13.58	13.87
23	POKUPSKO	11.58	11.62	11.76	11.90	12.56	12.68	13.31	13.74	14.14	14.88	14.92
24	PRESEKA	11.64	12.15	12.24	12.28	12.85	13.04	13.34	13.92	14.41	14.67	15.17
25	PUŠČA	10.44	10.96	11.04	11.41	11.89	12.05	12.27	12.65	13.07	13.43	13.79
26	RAKOVEC	11.70	11.98	12.33	11.81	12.43	13.06	13.41	13.95	14.22	14.42	14.68
27	RUGVICA	10.99	11.19	11.29	11.24	11.61	11.91	12.41	12.67	12.82	13.08	13.33
28	SAMOBOR	10.06	10.08	10.21	10.35	10.75	11.11	11.48	11.85	12.21	12.57	12.79
29	STUPNIK	9.26	9.20	9.28	9.55	10.00	10.58	11.05	11.26	11.70	11.84	11.80
30	SVETA NEDELJA	9.68	9.66	9.75	9.92	10.24	10.71	11.09	11.40	11.83	12.26	12.54
31	SVETI IVAN ZELINA	11.19	11.20	11.41	11.62	12.06	12.41	12.72	13.03	13.38	13.64	13.81
32	VELIKA GORICA	9.87	9.93	10.08	10.30	10.75	11.16	11.56	11.89	12.22	12.51	12.70
33	VRBOVEC	10.78	10.82	11.13	11.35	11.84	12.23	12.61	12.87	13.37	13.61	13.86
34	ZAPREŠIĆ	9.87	9.87	9.93	10.05	10.47	10.82	11.25	11.62	12.02	12.39	12.66
35	ŽUMBERAK	12.36	12.60	12.73	12.51	13.71	13.77	14.30	14.92	15.21	15.62	16.34

*Prilog 6. Prosječan prijeđeni put osobnih vozila u gradu Zagrebu i općinama i gradovima Zagrebačke županije.*

R. br.	Grad/općina	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
1	GRAD ZAGREB	111261	111404	111902	113785	119162	124252	129533	134157	139428	144579	148226
2	BEDENICA	141643	144114	152919	158731	159052	163087	176451	178783	183830	191600	201933
3	BISTRA	145069	149769	151106	157110	156604	162382	169149	177350	181452	186718	191639
4	BRCKOVLJANI	147924	155044	157788	166508	171075	177651	182065	188530	193860	200262	207926
5	BRDOVEC	128727	135765	134806	139436	145424	149993	155618	160663	166491	172708	177744
6	DUBRAVA	147180	153202	155901	161601	167114	171903	175063	181047	193887	196703	202375
7	DUBRAVICA	142220	149398	152422	159425	161786	172411	176474	179168	183972	187354	196573
8	DUGO SELO	140615	143023	146205	150189	154699	160321	165531	173197	180724	184260	188801
9	FARKAŠEVAC	156924	161951	168886	175789	181683	183408	184949	192566	197436	210885	216513
10	GRADEC	144743	148219	156422	159157	168985	177973	183619	186427	190480	196790	206599
11	IVANIČ-GRAD	133337	136390	138438	144234	149427	154101	158500	162977	167915	175425	182009
12	JAKOVLJE	149784	148187	152152	160764	163766	169255	172371	182395	191303	195363	201894
13	JASTREBARSKO	135337	139231	142344	146793	152430	157227	163197	168290	173933	179201	184250
14	KLINČA SELA	136591	136755	140730	146296	151433	158921	166178	173560	176957	182226	188038
15	KLOŠTAR IVANIČ	149195	151923	159950	161201	163977	169688	176942	180918	189242	193761	199815
16	KRAŠIĆ	145016	148588	157317	163100	168471	178793	185991	188667	195331	204001	206115
17	KRAVARSKO	135193	146506	154212	157909	165145	172739	180864	182072	186804	195419	201913
18	KRIŽ	147343	151769	155095	160208	162626	170884	174207	179180	185687	191130	197645
19	LUKA	157140	160442	163740	168317	179904	182984	186635	192059	201902	209417	217882
20	MARIJA GORICA	130837	131896	139006	140655	147185	153436	156788	163810	170821	176543	186716
21	ORLE	154834	156969	162513	166277	174842	179269	181765	189045	195865	206217	211744
22	PISAROVINA	137486	141188	144070	148559	153701	159052	163723	169973	180978	184246	190678
23	POKUPSKO	153223	158980	157862	166002	169389	174025	182726	183378	192316	203754	210239
24	PRESEKA	146682	151367	159328	164340	172167	171968	176995	184378	193346	201883	205719
25	PUŠČA	139927	142654	149010	158036	158591	166737	168500	172442	180908	185588	191634
26	RAKOVEC	158898	161544	160396	159768	170164	177275	183078	193559	201888	205038	211644
27	RUGVICA	159351	158148	163568	164888	169685	176205	181708	189291	193946	198539	204172
28	SAMOBOR	129932	130723	131894	134111	139602	144886	150302	155858	161583	167136	170944
29	STUPNIK	132051	127864	134019	139780	146420	153682	156948	162209	168112	175480	175244
30	SVETA NEDELJA	133355	132330	132956	135302	139379	146099	151685	156324	161355	168545	172076
31	SVETI IVAN ZELINA	147566	149892	153573	160149	167798	172710	179344	184893	189424	194368	199215
32	VELIKA GORICA	129774	131934	133848	137266	143330	148858	154152	159721	165324	170049	175171
33	VRBOVEC	136334	140273	144480	149266	156236	162622	167852	174800	180637	186585	191398
34	ZAPREŠIĆ	128820	131688	132832	137014	141632	145481	151340	156572	162527	168169	173077
35	ŽUMBERAK	142323	151948	155162	156117	177380	186343	184886	194788	200057	197068	209651

*Prilog 7. Emisije ugljičnog dioksida osobnih vozila u tonama za gradove i općine od 2007. do 2017. godine.*

	Grad/općina	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017. <sup>5</sup>
1.	Zagreb	952804.42	898873.86	847666.58	811938.44	803860.00	742395.66	701923.58	689919.67	699678.06	729434.11	668812.73
2.	Bedenica	1310.49	1218.90	1188.50	1166.08	1137.26	1147.88	1058.13	1086.27	1119.20	1223.80	1081.40
3	Bistra	5768.15	5620.16	5463.66	5360.67	5397.86	5217.41	5005.67	5053.10	5133.70	5330.15	4887.99
4.	Brckovljani	5589.44	5310.93	5244.21	5076.06	5255.02	4965.50	4866.90	4820.33	5033.95	5288.37	4831.54
5.	Brdovec	10669.25	10120.48	9593.48	9389.46	9416.73	9027.24	8688.06	8811.40	8936.53	9392.27	8503.50
6.	Dubrava	4110.18	3881.87	3813.45	3746.94	3744.16	3602.07	3466.80	3387.32	3554.66	3747.57	3326.70
7.	Dubravica	1459.41	1341.99	1291.10	1323.59	1247.14	1189.44	1144.86	1108.09	1094.87	1150.07	1005.39
8.	Dugo Selo	16374.52	15341.34	14635.32	14401.96	14440.99	13961.58	13842.41	13946.94	14403.56	14921.47	13502.24
9.	Farkaševac	1313.80	1284.95	1259.75	1237.93	1241.65	1249.17	1186.99	1142.04	1153.26	1245.91	1105.28
10.	Gradec	3034.65	2909.15	2821.61	2790.86	2763.48	2584.03	2559.83	2458.66	2549.82	2705.62	2423.37
11.	Ivanić – Grad	14180.44	13278.82	12722.90	12467.70	12361.51	11847.60	11262.76	11308.85	11576.38	11825.12	10516.46
12.	Jakovlje	4080.39	3968.93	3696.59	3592.20	3637.03	3480.01	3340.42	3380.05	3450.04	3506.74	3268.07
13.	Jastrebarsko	17178.68	15770.66	15116.99	14545.65	14668.99	13852.50	13480.62	13520.19	14058.07	14678.19	13265.55
14.	Klinča Sela	5066.57	4854.59	4639.98	4556.57	4483.11	4350.01	4264.73	4301.44	4411.09	4757.57	4416.78
15.	Kloštar Ivanić	5543.11	5331.94	5050.40	5029.08	4966.58	4861.62	4698.39	4745.16	4824.71	5062.29	4501.47
16.	Krašić	2144.44	2041.51	2015.03	2008.87	2076.73	1963.35	1861.02	1903.40	1943.99	2064.24	1821.87
17.	Krvarsko	1562.00	1474.09	1490.61	1492.14	1524.59	1436.15	1429.84	1462.10	1498.75	1609.61	1426.66
18.	Križ	6578.93	6142.54	6016.59	5833.18	5853.86	5640.73	5362.51	5373.16	5445.13	5708.59	5040.00
19.	Luka	1317.11	1227.91	1154.30	1207.53	1200.44	1145.29	1127.51	1112.94	1155.69	1218.88	1118.31
20.	Marija Gorica	2213.94	2209.63	2106.23	2022.69	2038.28	1971.14	1856.06	1871.88	1982.92	2056.86	1887.01
21.	Orle	1588.47	1549.15	1544.76	1450.70	1480.63	1446.54	1434.79	1348.14	1377.10	1462.17	1337.63
22.	Pisarovina	3375.51	3293.44	3263.38	3174.95	3197.51	2973.59	2919.15	2929.05	3116.72	3202.02	2979.27
23.	Pokupsko	1744.01	1609.19	1638.81	1613.73	1628.97	1612.75	1561.17	1539.69	1596.07	1734.94	1569.98
24.	Preseka	1313.80	1335.99	1262.60	1271.09	1258.13	1181.64	1092.82	960.19	982.95	1037.03	927.22
25.	Pušća	2730.19	2641.95	2570.80	2503.49	2551.97	2376.27	2361.59	2359.24	2313.82	2491.83	2288.74
26.	Rakovec	1092.08	1062.79	1074.49	1003.05	1054.85	997.26	968.92	952.91	1019.44	1064.06	964.14
27.	Rugvica	6559.07	6529.83	6563.81	6396.88	6568.08	6253.62	6170.36	6229.08	6491.33	6733.34	6082.31
28.	Samobor	39443.79	37293.57	35897.15	34808.43	34818.26	33197.70	32224.62	32158.94	32748.64	34138.52	31136.81
29.	Stupnik	4106.87	4040.99	4001.56	3937.60	4082.05	4079.92	3840.98	3896.51	4068.03	4315.23	4167.06
30.	Sveta Nedjelja	18697.66	18325.55	18163.76	17654.29	17778.60	17244.21	16659.96	16866.29	17284.27	17924.44	16032.01
31.	Sveti Ivan Zelina	16341.43	15365.36	15031.49	14678.29	14899.74	14197.91	13587.17	13862.07	14337.87	14857.58	13398.01
32.	Velika Gorica	68943.08	63692.09	60881.23	58619.19	57711.78	54763.36	52973.38	52657.45	55064.43	57545.47	52497.63
33.	Vrbovec	14230.08	13251.80	12797.00	12481.52	12537.32	11816.44	11579.95	11628.91	11931.60	12577.09	11154.88
34.	Zaprešić	26047.66	24326.99	22991.85	22224.67	22135.35	20965.74	20206.06	20185.72	20505.61	21340.26	19089.45
35.	Žumberak	602.30	582.43	570.02	560.94	593.35	545.37	512.96	533.44	549.87	530.80	505.95

<sup>5</sup> Podaci za 2017. godinu su procijenjeni na temelju jednadžbe za linearnu regresiju ( $\text{CO}_2 = -88,561.4220 \cdot \text{godina} + 182,033,010.0561$ ).

*Prilog 8. Emisije CO<sub>2</sub> osobnih vozila za 2016. godinu, količina potencijalno uskladištenog ugljika te udio uskladištenog ugljika iz emisija osobnih vozila u šumskim površinama gradova i općina.*

	Općina/grad	Emisija vozila CO <sub>2</sub> /t	Uskladišteno ugljika t/ha (potencijalni kapacitet vezanja CO <sub>2</sub> )	Udio emisija CO <sub>2</sub> iz osobnih vozila u uskladištenom ugljiku/%
1	Zagreb	729434.11	4593800 - 6087900	11.98 – 15.88
2	Bedenica	1223.80	136784 - 181272	0.68 – 0.89
3	Bistra	5330.15	539308 - 714714	0.75 – 0.99
4	Brckovljani	5288.37	404584 - 536172	0.99 – 1.31
5	Brdovec	9392.27	119480 – 158340	5.93 – 7.86
6	Dubrava	3747.57	701430 – 929565	0.40 – 0.53
7	Dubravica	1150.07	136578 – 180999	0.64 – 0.84
8	Dugo Selo	14921.47	254204 - 336882	4.43 – 5.87
9	Farkaševac	1245.91	664350 - 880425	0.14 – 0.19
10	Gradec	2705.62	590190 – 782145	0.35 – 0.46
11	Ivanić – Grad	11825.12	768998 – 1019109	1.16 – 1.54
12	Jakovlje	3506.74	287164 – 380562	0.92 – 1.22
13	Jastrebarsko	14678.19	2084720 – 2762760	0.53 – 0.70
14	Klinča Sela	4757.57	606052 – 803166	0.59 – 0.79
15	Kloštar Ivanić	5062.29	531480 – 704340	0.72 – 0.95
16	Krašić	2064.24	916494 – 1214577	0.17 – 0.23
17	Kravarско	1609.61	802988 – 1064154	0.15 – 0.20
18	Križ	5708.59	1103748 – 1462734	0.39 – 0.52
19	Luka	1218.88	83224 – 110292	1.11 – 1.46
20	Marija Gorica	2056.86	75396 – 99918	2.06 – 2.73
21	Orle	1462.17	31312 – 41496	3.52 – 4.67
22	Pisarovina	3202.02	1020936 – 1352988	0.24 – 0.31
23	Pokupsko	1734.94	1151128 – 1525524	0.11 – 0.15
24	Preseka	1037.03	291284 – 386022	0.27 – 0.36
25	Pušća	2491.83	99086 – 131313	1.90 – 2.51
26	Rakovec	1064.06	196524 – 260442	0.41 – 0.54
27	Rugvica	6733.34	228042 – 302211	2.23 – 2.95
28	Samobor	34138.52	3021814 – 4004637	0.85 – 1.13
29	Stupnik	4315.23	217536 – 288288	1.50 – 1.98
30	Sveta Nedjelja	17924.44	79928 – 105924	16.92 – 22.43
31	Sveti Ivan Zelina	14857.58	1347446 – 1785693	0.83 – 1.10
32	Velika Gorica	57545.47	2509492 – 3325686	1.73 – 2.29
33	Vrbovec	12577.09	682478 – 904449	1.39 – 1.84
34	Zaprešić	21340.26	256058 – 339339	6.29 – 8.33
35	Žumberak	530.80	1474960 – 1954680	0.03 – 0.04

*Prilog 9. Površine i udio šumskog pokrova u ukupnoj površini gradova i općina Zagrebačke županije i grada Zagreba.*

	R. br.	Grad/općina	Površina šumskog pokrova/ha		Udio šumskog pokrova u ukupnoj površini/ %	
Grad Zagreb	1	Zagreb	22 300		34.77	
Zagrebačka županija	2	Bedenica	664	113 666	30.91	37.13
	3	Bistra	2618		49.50	
	4	Brckovljani	1964		28.13	
	5	Brdovec	580		15.58	
	6	Dubrava	3405		29.44	
	7	Dubravica	663		32.25	
	8	Dugo Selo	1234		22.73	
	9	Farkaševac	3225		43.72	
	10	Gradec	2865		32.20	
	11	Ivanič – Grad	3733		21.52	
	12	Jakovlje	1394		39.18	
	13	Jastrebarsko	10120		44.69	
	14	Klinča Sela	2942		38.20	
	15	Kloštar Ivanič	2580		33.29	
	16	Krašić	4449		62.22	
	17	Kravarско	3898		66.72	
	18	Križ	5358		45.50	
	19	Luka	404		23.27	
	20	Marija Gorica	366		21.34	
	21	Orle	152		2.60	
	22	Pisarovina	4956		34.09	
	23	Pokupsko	5588		52.85	
	24	Preseka	1414		30.66	
	25	Pušća	481		28.26	
	26	Rakovec	954		27.37	
	27	Rugvica	1107		11.82	
	28	Samobor	14669		58.34	
	29	Stupnik	1056		42.29	
	30	Sveta Nedjelja	388		9.76	
	31	Sveti Ivan Zelina	6541		35.18	
	32	Velika Gorica	12182		37.29	
	33	Vrbovec	3313		20.60	
	34	Zaprešić	1243		23.04	
	35	Žumberak	7160		65.04	

## Životopis

Rođena sam 26.11.1992. u Zagrebu u Republici Hrvatskoj. Osnovnu školu Đure Deželića u Ivanić – Gradu završila sam 2007. godine te upisala Srednju školu Ivana Šveara u Ivanić – Gradu, smjer Opća gimnazija. Nakon završene srednje škole 2011. godine, upisala sam preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno – matematičkom fakultetu. Nakon završetka preddiplomskog studija 2016. godine, upisala sam diplomski studij Znanosti o okolišu. Usporedno sa studijem uspješno se bavim sportskim streljaštvom, pištoljem velikog i malog kalibra u sklopu ISSF programa u olimpijskoj disciplini te sam višestruka državna rekorderka i državna prvakinja.